

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8Mai 1945 – Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf : .../2021



## MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

**Domaine :** Sciences et Technologie

**Filière :** Electromécanique

**Spécialité :** Electromécanique

**Par :** DAFFRI SARRA

**Thème**

**Etude d'un convoyeur à bande pour le transport du minerai de fer**

Soutenu publiquement, le 14/07/2021, devant le jury composé de :

M. Bezazi abderrezak	Professeur	Univ.Guelma	Président
M. Mouassa Ahcene	MCA	Univ.Guelma	Encadreur
M. Moussaoui A	Professeur	Univ.Guelma	Co-Encadreur
M. Frihi djamel	MCA	Univ.Guelma	Examineur
M. bensouilah hamza	Professeur	Univ.Guelma	Examineur

**Année Universitaire :2020/2021**

# *Remerciements*

*En terme de rédaction de ce mémoire, je remercie*

*DIEU qui a toujours éclairé notre vie par le  
savoir, et qui nous a donné le courage, la force et la volonté  
pour réaliser ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier tout particulièrement mes encadrateurs  
Dr Mouassa A et le professeur Moussaoui A pour m'avoir  
permis de réaliser ce travail et pour leur aide, leur accueil et  
leur disponibilité.*

*Guider et conseiller durant ma préparation du  
Mémoire.*

*Je tien remercions aussi les ingénieurs et les techniciens de  
SIDAR EL-HADJARDE Annaba.*

*Je tien à remercier aussi les membres de jury qui*

*Mon fait l'honneur de juger mon travail*

*Enfin, je tien également à remercier toutes les  
Personnes qui ont participé de près ou de loin à la  
réalisation  
de ce modeste travail.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à : Ma chère mère et mon cher*

*Père et mes frères et mes sœur que dieu les protège.*

*Tous les enseignants qui m'ont aidé, et les étudiants de*

*Génie Electromécanique, surtout les étudiants de 2eme année*

*Master*

*Promotion (2020-2021).*

*DAFFRI SARRA*

# Sommaire :

<b>Introduction générale.....</b>	<b>5</b>
<b>Chapitre I : Généralité sur les convoyeurs.....</b>	<b>6</b>
<b>I.1 Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>I.2 Convoyeur à bande .....</b>	<b>7</b>
<b>I.2.1 Définition d'un convoyeur.....</b>	<b>7</b>
<b>I.3 Composants et leur dénomination :.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4 Avantages et les inconvénients.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4 Types et configurations des convoyeurs à bande .....</b>	<b>9</b>
<b>I.5 Domaines d'utilisation .....</b>	<b>11</b>
<b>I.6 Caractéristique technique des convoyeurs à bande .....</b>	<b>12</b>
<b>I.7 Composants du convoyeur et leurs dénominations.....</b>	<b>12</b>
<b>I.7.1 Tambour .....</b>	<b>13</b>
<b>I.7.2 Garnitures de tambours.....</b>	<b>13</b>
<b>I.7.3 Emplacement des tambours.....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.4 Tambour de commande (Tête motrice ou d'entraînement).....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.5 Tambour de renvoi.....</b>	<b>14</b>
<b>I.7.6 Tambour de contrainte .....</b>	<b>14</b>
<b>I.8 Différents types d'entrainements de convoyeurs à bande .....</b>	<b>14</b>
<b>I.9 Dispositifs de tension : .....</b>	<b>15</b>
<b>I.10 Trémie d'alimentation .....</b>	<b>16</b>
<b>I.11 Dispositifs de nettoyage.....</b>	<b>17</b>
<b>I.12 Capot ou couvercle protecteur .....</b>	<b>17</b>
<b>I.13 Bande (courroie) .....</b>	<b>18</b>
<b>I.14 Stations porteuses en auge .....</b>	<b>21</b>
<b>I.15 Conclusion.....</b>	<b>22</b>
<b>Chapitre II : Contrôle et réglage de la vitesse des convoyeurs à bande.....</b>	<b>23</b>
<b>II.1. Introduction.....</b>	<b>24</b>
<b>II.2. Détermination des caractéristiques principales.....</b>	<b>24</b>
<b>II.2.1Produit transporté .....</b>	<b>25</b>
<b>II.2.2 Flux du produit transporté.....</b>	<b>27</b>
<b>II.2.3 Parcours ou dénivellation du produit transporté .....</b>	<b>27</b>
<b>II.2.4 Type de transporteur.....</b>	<b>27</b>
<b>II.2.5 Capacité de transporteur.....</b>	<b>32</b>
<b>II.3 Méthode de calcul du transporteur.....</b>	<b>33</b>
<b>II.3.1Masses .....</b>	<b>34</b>

II.3.3	Résistance à l'avancement $F_f$ (coefficient de frottement) .....	38
II.3.4	Puissance d'entraînement $P_{Tr}$ .....	40
II.4	Comportement dynamique du convoyeur à bande en mode transitoire.....	42
II.5	Risques potentiels en fonctionnement transitoire.....	42
II.5.1	Surtension de la bande .....	42
II.5.2	Glissement (patinage) de la bande autour de tambour d'entraînement.....	43
II.5.3	Surchauffe du moteur.....	43
II.5.4	Déversement de matériel. ....	43
II.6	Méthode d'obtention d'un fonctionnement d'accélération approprié avec le moins de temps d'accélération.....	44
II.6.1	Initiation : .....	44
II.6.2	Estimation de l'accélération autorisée .....	51
II.6.3	Optimisation .....	52
II.7	Etude de cas.....	53
II.7.1	Etape 1 - Initiation.....	54
II.7.2	Etape 2 - Calcul dynamique (Estimation de l'accélération autorisée) .....	55
II.7.3	Etape 3 - Optimisation.....	59
<b>Chapitre III</b>	<b>La surveillance et le diagnostic des Convoyeurs à bande.....</b>	<b>65</b>
III.1	Introduction .....	66
III.3	Surveillance des convoyeurs à bande .....	67
III.4	Techniques de surveillance des convoyeurs à bande.....	67
III.4.1	Surveillance de l'état de la bande : .....	69
III.4.2	Surveillance de la vitesse de la bande .....	70
III.4.3	Surveillance de la force, la tension et le couple .....	71
III.4.4	Surveillance des vibrations .....	71
III.4.5	Surveillance du désalignement de la bande.....	72
III.4.6	Surveillance de la température .....	73
III.5	Diagnostic des défauts des convoyeurs à bande .....	73
III.5.2	Diagnostic par les méthodes externes .....	74
III.5.4	Diagnostic par les méthodes déductives.....	75
III.6	Stratégies de la maintenance des convoyeurs à bande .....	75
III.6.1	Opération de la maintenance préventive .....	75
III.6.2	Opérations de la maintenance corrective .....	76
III.7	Conclusion.....	77
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>79</b>
	<b>Bibliographie.....</b>	<b>80</b>

## Introduction générale

Le convoyeur à bande est le système de manutention le plus couramment mis en œuvre par rapport à d'autres moyens de transport (camion, transport par rail, etc...), Le choix d'un convoyeur à bande dépend d'une connaissance parfaite des caractéristiques de construction et des forces qui s'exercent sur tous ses composants, à cause de leur utilisation intensive. L'approche de contrôler la vitesse est l'un de ces solutions, pour cette raison nous présentons dans cette mémoire une méthode en trois étapes qui peut être utilisée pour déterminer la bonne façon d'accélérer un convoyeur à bande à vitesse contrôlée pendant le fonctionnement transitoire. Cette méthode prend en compte les risques potentiels en fonctionnement transitoire et la performance dynamique du convoyeur. Nous avons étudié l'état du système horizontal en appliquant la méthode en trois étapes, dont les simulations sont existantes d'un convoyeur à bande. Compte tenu de leur utilisation intensive, les opérations des convoyeurs à bande impliquent une quantité considérable d'énergie électrique à titre d'exemple les convoyeurs à bande consomment **50 à 70%** d'énergie électrique totale d'un terminal de vrac sec ; c'est pourquoi il est nécessaire de s'occuper de ce problème à cause des défis liés à la disponibilité de l'énergie et à cause de la pollution de l'environnement dans certaines parties du monde. Au cours des dernières décennies, plusieurs solutions d'économie d'énergie ont été proposées pour réduire la consommation d'énergie des convoyeurs à bande ; l'un de ces solutions est l'approche du contrôle de vitesse de la bande. La recherche actuelle sur le contrôle de la vitesse pour les convoyeurs à bande se concentre principalement sur le calcul et la prédiction des économies d'énergie possibles ; Pour cette raison, nous présentons dans ce travail une méthode en trois étapes qui peut être utilisée pour déterminer la bonne façon d'accélérer un convoyeur à bande à vitesse contrôlée pendant le fonctionnement transitoire potentiel.[2] En outre, nous avons analysés le comportement dynamique du convoyeur en mode transitoire de plus les risques sont discutés en détail. [2] ,Pour illustrer plus clairement la méthode en trois étapes, un convoyeur à bande horizontal est étudié. La mise en œuvre de l'étude de cas montrera la faisabilité de la méthode en trois étapes pour réaliser l'opération d'accélération appropriée avec un temps d'accélération optimal. La contribution principale de ce travail est la présentation d'une méthode en trois étapes pour réaliser l'opération transitoire appropriée avec un temps d'accélération optimal.

# **Chapitre I :**

## **Généralité sur les convoyeurs**

## **I.1 Introduction**

Les convoyeurs à bande sont des systèmes de manutention les plus utilisés en industrie et font l'objet de notre étude, c'est en fait le plus économique, compte tenu notamment de son adaptabilité aux conditions les plus diverses et les plus difficiles. Actuellement, il ne s'agit plus uniquement de convoyeurs horizontaux ou inclinés, mais également de courbes, de convoyeurs présentant une forte déclivité et des vitesses de plus en plus élevées, Ces installations peuvent être fixes ou mobiles et sont utilisées pour le transport de produits en vrac ou de charges isolés. Dans ce chapitre nous allons définir les caractéristiques techniques des convoyeurs à bande, compris leurs composants et leurs domaines d'utilisations.

## **I.2 Convoyeur à bande**

Généralement un convoyeur est un mécanisme composé de plusieurs éléments dont le but de transporter une charge isolée (cartons, bacs, sacs ...) ou de produit en vrac (terre, poudre, aliments...) d'un point A à un point B. [2]

### **I.2.1 Définition d'un convoyeur**

Le convoyeur est un système de manutention automatique qui permet de déplacer des produits finis ou bruts d'un poste à un autre par le mécanisme de transmission de puissance. Cette dernière est transmise d'un arbre moteur vers un ou plusieurs arbres récepteurs par l'intermédiaire de courroies ou de chaînes. [2]

Le produit ou la marchandise étant placés sur une bande ou sur une tôle se déplacent d'une manière uniforme dans un circuit fermé. La vitesse de déplacement est relative à la vitesse de rotation du moteur et peut être réduite ou augmentée selon la volonté de l'opérateur en tenant compte de quelques paramètres tels que la productivité et la cadence de production [6].

Le convoyeur facilite les tâches de réception et d'expédition de la marchandise. Il est également approprié pour alimenter les postes de travail et évacuer les produits finis.

Les convoyeurs sont employés dans de nombreux procédés technologiques tels que le transfert de pièces, de sable, des produits alimentaires, des sacs de ciment, des bagages de voyage.

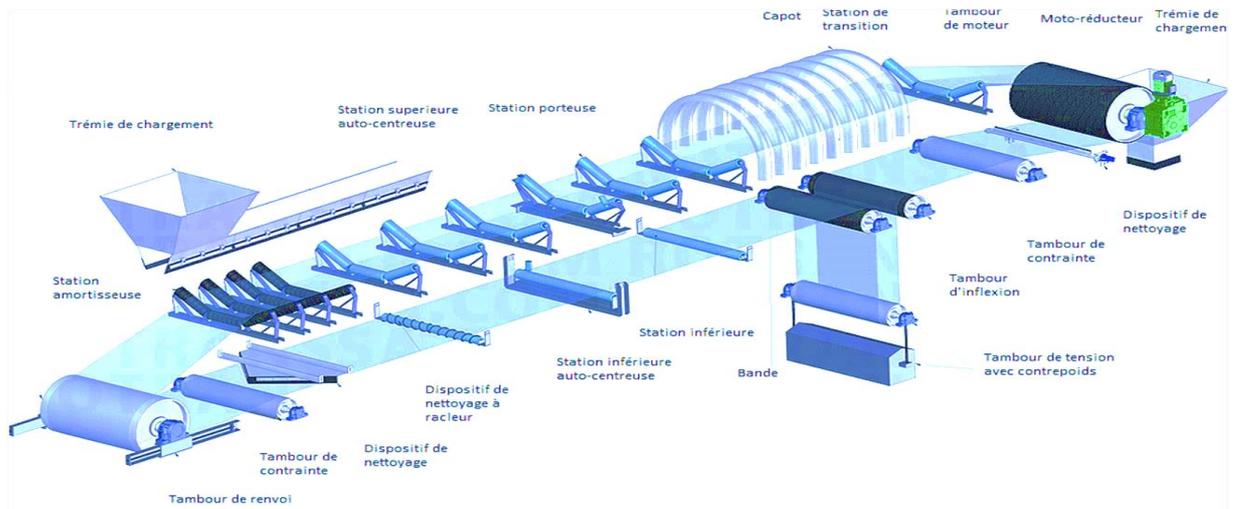
Le rôle du convoyeur est donc de remplacer le travail de l'ouvrier qui trouve beau. de du produit influençant directement sur la productivité. Coup de peine à accomplir ses tâches, fournissant un déplacement beaucoup plus rapide voir la figure I.1.



**Figure I.1** Convoyeur a bande.

### I.3 Composants et leur dénomination :

Le dessin ci-dessous montre les principaux composants qui constituent un transporteur à bande :



**Figure I.2** Les différents composants du convoyeur à bande.

### I.4 Avantages et les inconvénients

➤ **Les avantages :**

- C'est l'un des moyens les moins chers ,
- Il n'y a pratiquement aucune dégradation du produit causée par le transport,
- Le convoyeur peut avoir des changements d'élévation,
- Le matériau peut être visible sur la ceinture lors du transport,

- Les matériaux peuvent être chargés pratiquement n'importe où sur la ceinture [5].
  - **Les inconvénients :**
- La conception normale d'un convoyeur à bande est ouverte. Si le produit doit être contenu, les couvercles et les bacs d'égouttage peuvent devenir coûteux et encombrants,
- Si le matériau est collant, le nettoyage de la bande peut être difficile et généralement pas très réussi,
- Il y a presque toujours de la matière qui s'écoule de la décharge de la courroie et cela devient un problème d'entretien. [5]

#### **I.4 Types et configurations des convoyeurs à bande**

En choisissant un convoyeur, il faut tenir compte des facteurs suivants :

- L'inclinaison du convoyeur,
- La densité des matériaux,
- La granulométrie du produit à transporter,
- Le coefficient de frottement entre le matériau et le revêtement supérieur de la bande,
- Les conditions environnementales (humidité, température et autres...). [4]

En choisissant un convoyeur, il faut tenir compte de facteurs tels que :

- L'inclinaison du convoyeur,
- La densité du matériau,
- La taille des morceaux,
- La forme des morceaux,
- L'angle interne de friction,
- Le coefficient de friction entre le matériau et le revêtement supérieur de la courroie,
- La teneur en eau du matériau,
- Les conditions environnementales,
- etc. [10]

Si on utilise des convoyeurs inclinés, différents problèmes de déversement peuvent survenir à la suite :

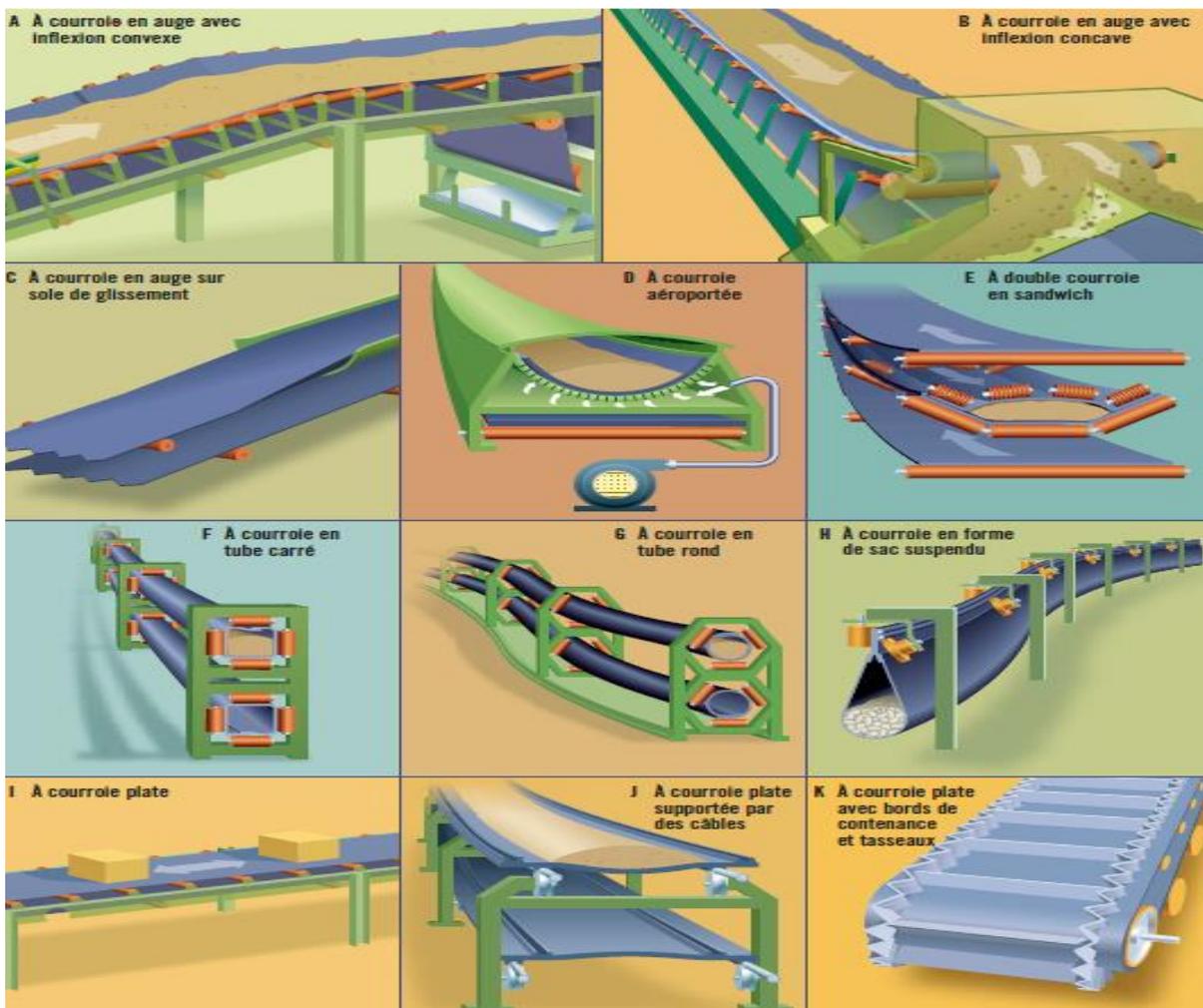
- Du glissement de l'ensemble de la charge vers le bas du convoyeur,
- Du glissement interne des matériaux (ceux situés au-dessus glissent sur ceux du

dessous),

- Du glissement des plus gros morceaux vers le bas du convoyeur,
- Du glissement des plus gros morceaux sur les plus petits.

Ces glissements peuvent également avoir une incidence directe sur le fonctionnement du convoyeur, puisqu'ils peuvent endommager la bande et d'autres composants du convoyeur.

Les convoyeurs à bande peuvent prendre de multiples configurations qui peuvent améliorer la sécurité, en réduisant par exemple le nombre de convoyeurs ou la fréquence des nettoyages. Plusieurs types et profils de courroies ont été conçus afin de réduire les déversements, surtout dans les montées (courroie en auge avec bords de contenance et tasseaux, courroie plate pourvue de godets), et de contrôler l'émission de poussières (courroie en forme de sac suspendu). Dans certains cas, il peut être nécessaire d'encoffrer totalement le convoyeur afin d'empêcher la propagation de poussières dans l'environnement. La Figure I.3 illustre les principaux types et profils de courroies. [10]



**Figure I.3** Type et configuration des convoyeurs à bande.

## I.5 Domaines d'utilisation

Les convoyeurs à bande sont très employés dans l'industrie, les mines et carrières et l'agriculture pour le déplacement, généralement à courte distance, de matériaux plus ou moins pondéreux tels que charbon, minerai, sable, céréales, etc. [7]

Cette technique a des emplois très variés. On la retrouve par exemple sous forme de trottoir roulant pour le déplacement de personnes dans les gares et aéroports, de fonds mobiles de certains véhicules auto-déchargeurs, de tapis roulants aux caisses des hypermarchés ou pour la livraison des bagages dans les aéroports, etc. [8]

Des bandes transporteuses mobiles, souvent appelées « sauterelles » servent généralement au chargement ou au déchargement de véhicules, notamment des wagons et des navires, par exemple pour le minerai.

Des



mécanismes de convoyeurs à bandes sont utilisés comme composants dans les systèmes de distribution et d'entreposage automatisés. Combinés à des équipements de manutention de palette commandés par ordinateur, ils permettent une distribution plus efficace des produits manufacturés, de détail ou de gros. Ces systèmes permettent de traiter rapidement des volumes de marchandises plus importants tant en réception qu'en expédition, avec des volumes de stockage plus réduits, autorisant d'intéressants gains de productivité aux entreprises. [9]

**Figure I.4** Différents domaine d'utilisation.

## I.6 Caractéristique technique des convoyeurs à bande

Le convoyeur à bande est caractérisé par la puissance de son moteur d'entraînement, environ de 95 % de cette puissance est transformée en tension effective sur la bande.

Les deux facteurs, puissance du moteur et la tension sur la bande sont d'une importance capitale pour le bon fonctionnement du convoyeur et le contrôle de la charge. Si la puissance et la tension ne sont pas correctement synchronisées, les matériaux peuvent se déverser et auront à la fois une incidence sur la durée de vie de la bande et sur les autres éléments du convoyeur comme il peut avoir des répercussions sur la sécurité de l'ensemble [4].

Un convoyeur à bande a pour fonction de transporter en continu des produits en vrac mélangés ou homogènes, sur des distances allant de quelques mètres à des dizaines de kilomètres. L'un des principaux composants du convoyeur est la bande en élastomère dont la fonction est double :

- Recevoir le produit transporté,
- Transmettre la force nécessaire pour déplacer cette charge.

Parmi les autres systèmes de transport, on cite le transport par camion, et par comparaison avec le convoyeur à bande qui présente les avantages suivants par rapport à celui par camion :

- Meilleure maintenance,
- Réduction des effectifs,
- Réduction de la consommation d'énergie,
- discontinuité du produit,
- Réduction des risques d'accidents,
- Réduction des coûts d'exploitation.

Selon les charges à transporter, pour les grands convoyeurs à bande on réalise une économie de 40 à 60 % par rapport au transport routier [4].

## I.7 Composants du convoyeur et leurs dénominations

Le schéma ci-dessous indique les principaux éléments du convoyeur à bande :

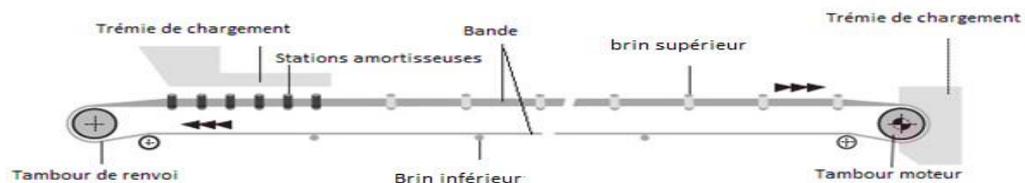


Figure I.5 Schéma de principe d'un convoyeur à bande.

### I.7.1 Tambour

Entraîner la bande ou l'amener à changer de direction. Les tambours peuvent être recouverts d'une garniture afin d'augmenter le coefficient de frottement entre la bande et le tambour, de réduire l'usure par abrasion de ce dernier ou de créer un effet autonettoyant. La géométrie du rouleau ou de sa garniture peut aussi servir à centrer la bande, comme le montre de commande [10].

### I.7.2 Garnitures de tambours

La garniture d'un tambour a pour fonction principale d'augmenter le coefficient de friction entre la bande et le tambour, mais elle sert aussi à réduire l'usure par abrasion afin d'augmenter la durée de vie du tambour. La garniture peut aussi avoir un effet autonettoyant et de centrage. La figure I.5 illustre différents types de garnitures de tambour. Tous les tambours doivent être munis d'une garniture adaptée à l'usage du convoyeur et à la courroie qui est utilisée (il faut aussi adapter la dureté de la garniture du tambour à la dureté du caoutchouc de la face interne de la courroie) [10].

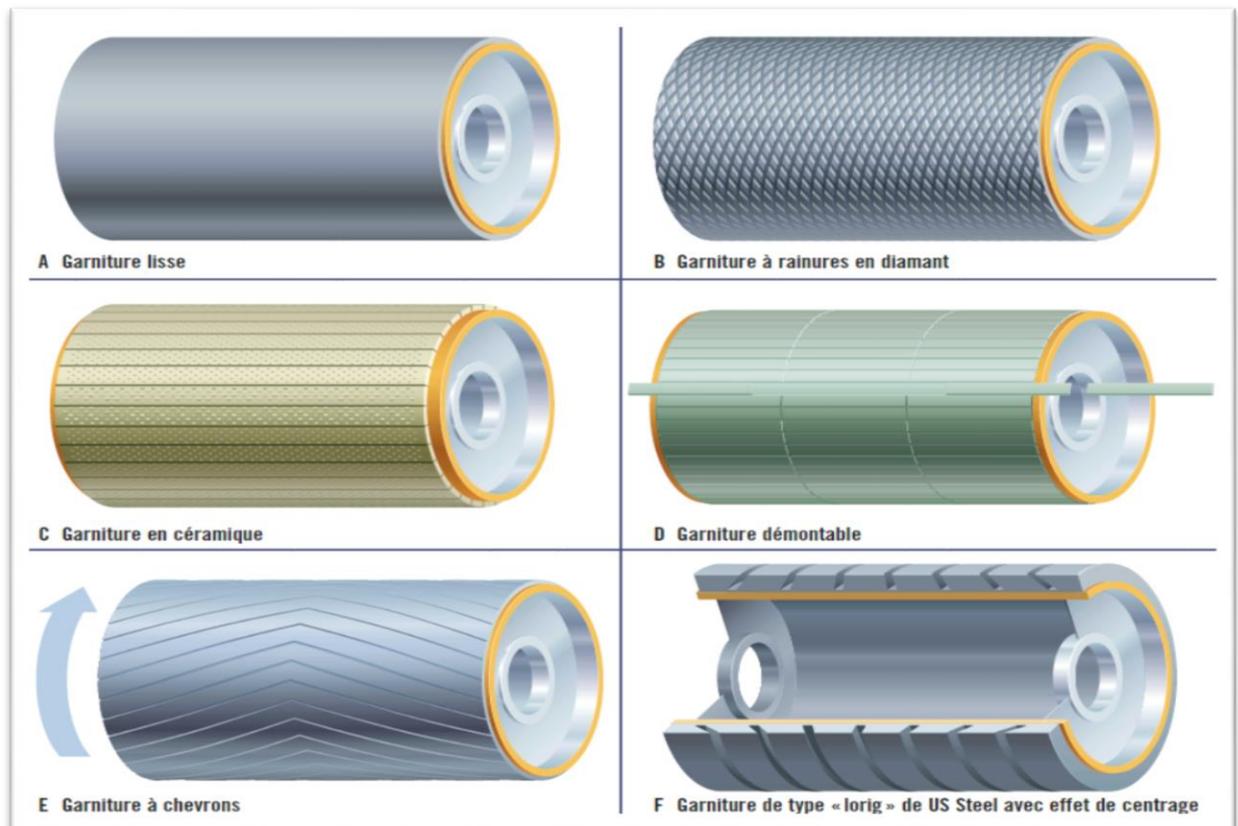


Figure I.6 types de garnitures de tambour.

### I.7.3 Emplacement des tambours

Les principales données nécessaires à la conception d'un tambour sont les suivantes :

- Largeur de la bande,
- Diamètre du tambour en fonction du type et des caractéristiques de la bande,
- Mode de fixation de l'axe au tambour (bague de verrouillage, clavette, soudage),
- Emplacement du tambour (tambour de commande, de renvoi ou de contrainte) comme le montre dans la figure(I.6),
- Angle d'enroulement de la bande sur le tambour d'entraînement  $\alpha$ ,
- Tensions de la bande  $T_1, T_2$  [4].

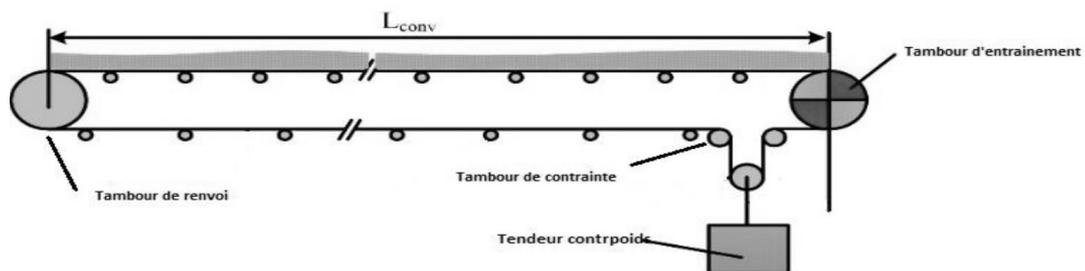


Figure I.7 Emplacement des tambours.

### I.7.4 Tambour de commande (Tête motrice ou d'entraînement)

Comme son nom l'indique, c'est le tambour qui transforme l'énergie pour faire avancer la bande. Elle peut être de conception traditionnelle ou équipée d'un tambour moteur [11].

### I.7.5 Tambour de renvoi

La surface du carter n'a pas nécessairement besoin d'être munie d'un revêtement, sauf dans certains cas. Le diamètre est normalement inférieur à celui qui est prévu pour le tambour de commande Tambour d'inflexion ou de contrainte.

### I.7.6 Tambour de contrainte

Ils servent à augmenter l'arc d'enroulement de la bande, d'une manière générale, ils sont utilisés dans tous les cas où il est nécessaire de dévier la bande au niveau des dispositifs de tension à contrepoids, des appareils de déchargement mobiles, etc.

## I.8 Différents types d'entraînements de convoyeurs à bande

Il existe deux types d'entraînements d'un convoyeur à bande à savoir :

#### ➤ Conception traditionnelle (entraînement classique)

Comporte un groupe d'entraînement constitué d'un tambour de commande dont le dimensionnement est adapté à la charge supportée par la bande et un tambour de renvoi à l'extrémité opposée. La puissance est transmise par une boîte d'engrenages directement

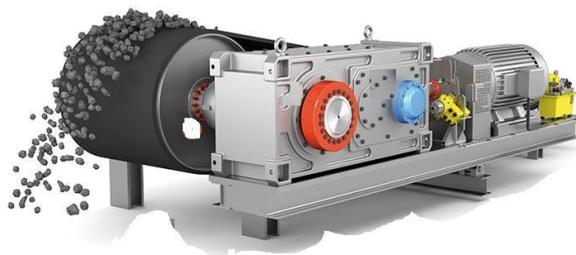
accouplée ou par une transmission par arbre directe ou parallèle entraînant le tambour de commande avec un couple adapté.



**Figure I.8** Tête d'entraînement classique.

#### ➤ **Tambour motorisé**

Dans cette configuration, le moteur, la boîte d'engrenages et les roulements constituent un ensemble complet, enfermé et protégé à l'intérieur d'un carter, qui entraîne directement la bande. Cette solution élimine toutes les complications liées aux transmissions extérieures, couples, etc. décrits ci-dessus pour la conception traditionnelle. A l'heure actuelle, les tambours moteurs sont fabriqués avec des diamètres allant jusqu'à 800 mm, une puissance de l'ordre de **130 KW** et un rendement qui peut atteindre 97%. [4]



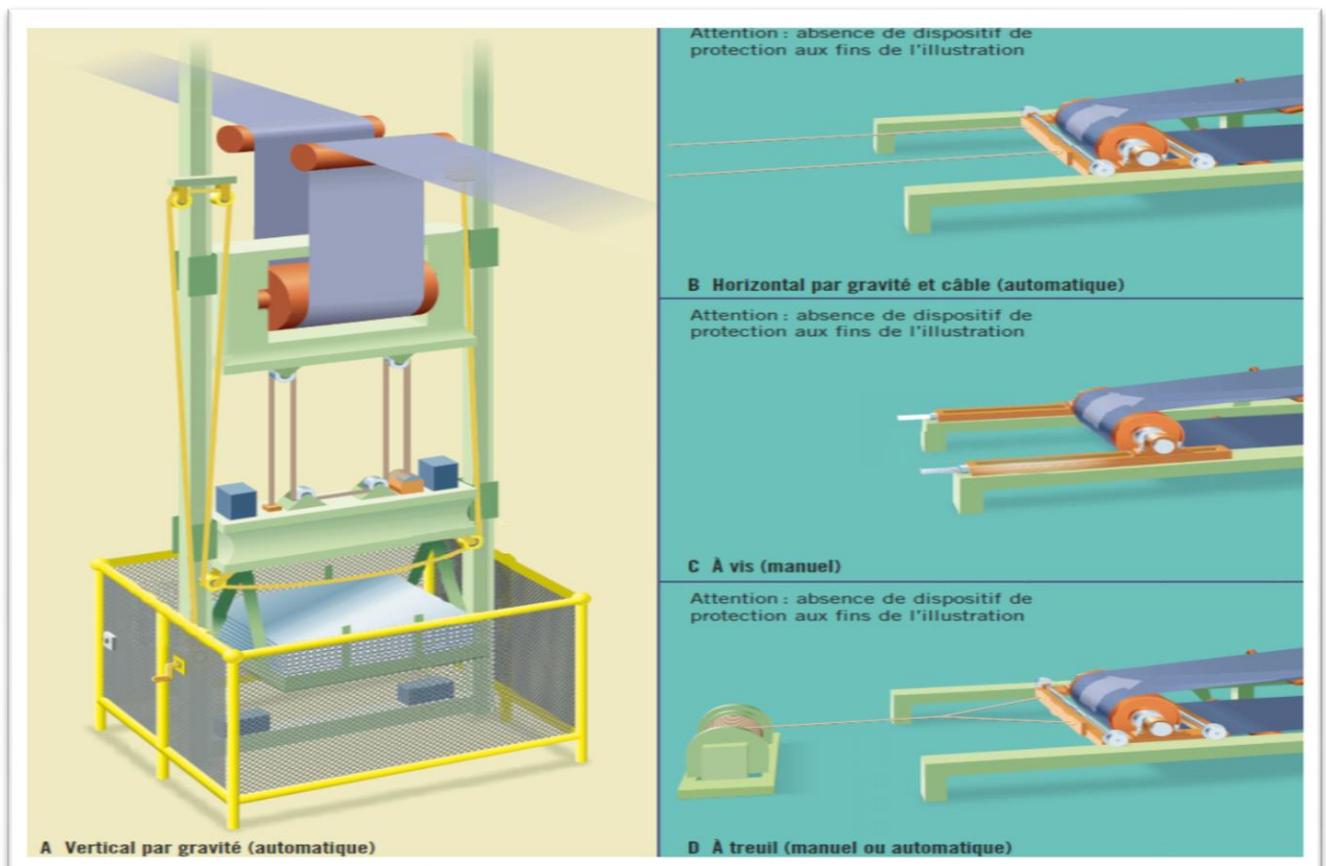
**Figure I.9** Tambour motorisé.

### **I.9 Dispositifs de tension :**

Les dispositifs de tension sont d'une importance capitale pour le fonctionnement du convoyeur, car ils permettent :

- De maintenir la tension initiale de la courroie (T2) à la sortie du tambour moteur afin d'éviter le patinage,

- De maintenir la tension au point de chargement et aux autres parties du convoyeur afin que la courroie puisse garder sa forme en auge et éviter ainsi le déversement de matériaux,
- De compenser les phénomènes d'élongation de la courroie attribuables à l'usure, aux accélérations, aux freinages ou aux variations de la charge,
- De minimiser la tension et les étirements excessifs dans les épissures et de compenser l'étirement progressif de la carcasse, contrôlant ainsi l'usure de la courroie,
- De maintenir la capacité de centrage de la courroie par les rouleaux et les tambours du convoyeur,
- D'éliminer la tension au moment d'un changement d'épaisseur ou de courroie et d'assurer le mouvement nécessaire pour effectuer plusieurs épissures [10].



**Figure I.10** types de dispositifs de tension

## I.10 Trémie d'alimentation

La trémie est conçue pour faciliter le chargement et le glissement du produit en absorbant les chocs de la charge et en évitant les colmatages et l'endommagement de la bande. Elle permet un chargement immédiat du produit et résout les problèmes d'accumulation [12].

L'inclinaison des parois doit être fonction de la manière dont le produit tombe, de sa trajectoire, ainsi que de la vitesse du convoyeur. La granulométrie et la masse volumique du produit, ainsi que ses propriétés physiques, telles que humidité , corrosion, etc. ont également leur importance pour la conception [13].



**Figure I.11** Vues de trémie de chargement.

### **I.11 Dispositifs de nettoyage**

Le système de nettoyage de la bande doit faire l'objet d'une attention toute particulière de manière à réduire la fréquence des opérations de maintenance, notamment lorsque la bande transporte des produits humides ou collants. Un nettoyage efficace permet au convoyeur d'atteindre un maximum de productivité [4].



**Figure I.12** Dispositifs de nettoyage.

### **I.12 Capot ou couvercle protecteur**

Le capot, pour convoyeurs, a une importance fondamentale lorsqu'il est nécessaire de protéger le produit transporté de l'air ambiant et d'assurer le bon fonctionnement de l'installation [4].



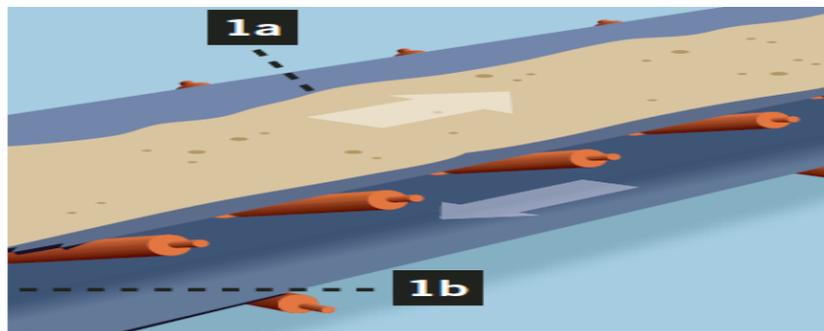
**Figure I.13** Couvercle de protection.

### **I.13 Bande (courroie)**

Transporter le matériau de la queue jusqu'à la tête du convoyeur. Se présente sous deux formes principales, plate et en auge . Toute courroie comporte deux faces : la face externe, qui est en contact avec les matériaux transportés, et la face interne, qui est en contact avec les rouleaux ou les tambours. [10].

La courroie comporte aussi deux brins :

- **1a.** Brin supérieur (ou brin porteur)
- **1b.** Brin inférieur (ou brin de retour)



**Figure I.14** types de supports de bande.

La bande est généralement constituée par une carcasse et par les revêtements porteurs et envers qui enveloppent l'âme et les bords de la bande qui sont réalisés sans armature. La bande installées dans les transporteurs à bandes sont considérées comme des éléments de manutention sans fin composés d'un ou de plusieurs traçons de bandes réunis à leurs extrémités alors que les bandes transporteuses à faible longueur peuvent être directement fabriquées sans fin[5].

On distingue différents types de bande :

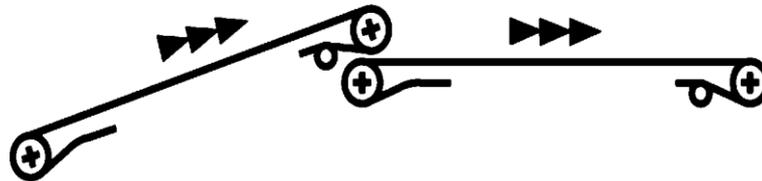
- Bande de toile et caoutchouc,
- Bande de fibres naturelles et synthétiques,

- Bande d'acier,
- Bande e treillis métallique,

Le convoyeur à bande structurellement, c'est un moyens de transport les plus légers, il peut être horizontale, incliné des dans les deux sens ou la combinaison des trois ; Les plans ci de suite montrent des configurations typiques du convoyeur à bande[5] :



**Figure I.15** Convoyeur à bande horizontale.



**Figure I.16** Convoyeur à tronçons horizontal et incliné, pour lequel il est nécessaire d'utiliser deux bandes.



**Figure I.17** Convoyeur à bande horizontale et tronçon incliné, où l'espace permet une courbe verticale et la charge ne nécessite qu'une seule bande.



**Figure I.18** Convoyeur à tronçons horizontal et incliné, où l'espace ne permet pas de réaliser une courbe verticale, mais la charge ne nécessite qu'une seule bande.



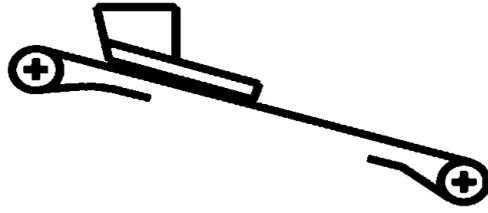
**Figure I.19** Convoyeur à bande inclinée et tronçon horizontal, où la charge ne nécessite qu'une seule bande et l'espace permet une courbe verticale.



**Figure I.20** Convoyeur à une seule bande comportant un tronçon horizontal, un tronçon incliné et un en descente avec des Courbes verticales.



**Figure I.21** Convoyeur à tronçons horizontal et incliné, où l'espace ne permet pas de courbe verticale et la charge nécessite deux bandes.



**Figure I.22** Convoyeur dont la bande est chargée en pente ascendante ou descendante.

### I.14 Stations porteuses en auge

Les rouleaux porteurs sont généralement fixés sur des pattes de fixation soudées à une traverse ou un support. L'angle d'inclinaison des rouleaux latéraux varie entre 20° et 45°[4].



**Figure I.23** Fixation des rouleaux sur la station-support

### Stations supports inférieures

Appel aussi brin de retour, ils peuvent comporter un seul rouleau sur toute la largeur ou bien deux rouleaux formant un "V" et inclinés à 10°, suivant la figure I.24 [4].



**Figure I.24** Rouleaux porteurs inférieurs

## **I.15 Conclusion**

Avant de faire le choix ou la conception d'un convoyeur à bande, il faut d'abord faire une recherche bibliographique pour avoir une connaissance suffisante sur les caractéristiques techniques des convoyeurs à bande, ses principaux organes de construction, et leurs domaines d'utilisations.

Cette connaissance, nous permet de déterminer le type du convoyeur à bande avec un bon dimensionnement dans le but de nous assurer la longue durée de vie de ses composants et d'éviter les risques et les incidences sur la sécurité de ces derniers.

Elle nous permet aussi d'avoir un bon rendement dans des conditions stables et efficaces et d'assurer un bon environnement de travail.

## **Chapitre II**

### **Contrôle et réglage de la vitesse des convoyeurs à bande**

## II.1. Introduction

Le choix d'un convoyeur à bande dépend d'une connaissance parfaite des caractéristiques de construction et des forces qui s'exercent sur tous ses composants. Les principaux facteurs qui déterminent le dimensionnement d'un convoyeur à bande sont :

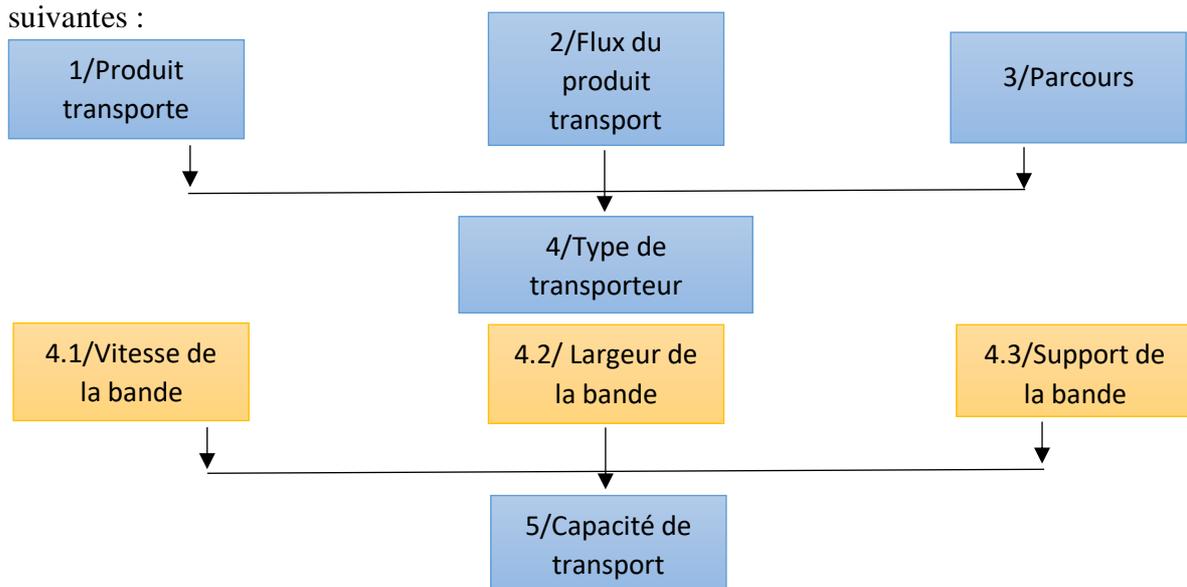
- La nature et le type du produit transporté et ses caractéristiques, telles que granulométrie, densité apparente, propriétés physiques et chimiques,
- Le flux de matière à transporter ou le débit-volume nécessaire qu'il soit en vrac ou qu'il se présente sous forme de charges isolées,
- Le parcours (longueur et dénivellation) et le profil du convoyeur ont également leur importance.

Le calcul de la bande transporteuse commence par l'examen de la zone d'alimentation et la détermination des données principales grâce auxquelles on peut caractériser le cas précis d'utilisation [1]. L'approche de contrôler la vitesse de la bande de telle façon que la capacité volumétrique de la bande est entièrement utilisée dans toutes les conditions opérationnelles a été prouvé pour significativement réduire la consommation d'énergie d'un convoyeur à bande.

La recherche actuelle sur le contrôle de la vitesse pour les convoyeurs à bande se concentre principalement sur le calcul et la prédiction des économies d'énergie possibles ; Pour cette raison, nous présentons dans ce chapitre une méthode en trois étapes qui peut être utilisée pour déterminer la bonne façon d'accélérer un convoyeur à bande à vitesse contrôlée pendant le fonctionnement transitoire ; Cette méthode prend en compte les risques potentiels en fonctionnement transitoire et la performance dynamique du convoyeur.

## II.2. Détermination des caractéristiques principales

Pour effectuer le calcul du convoyeur à bande, il faut déterminer les données principales suivantes :



**Figure II.1** Diagramme des données principales de calcul.

## II.2.1 Produit transporté

L'étude de conception d'un convoyeur à bande doit normalement commencer par une évaluation des caractéristiques du produit à manutentionner [14].

### II.2.1.1 Angle d'éboulement du produit (Angle de frottement naturel)

L'angle d'éboulement ou de talus naturel, aussi connu comme angle de frottement naturelle, est l'angle obtenu lorsque la matière est en état d'équilibre permanent ; C'est à dire, lorsque la matière prend naturellement une pente constante par rapport au plan horizontal. Souvent notée angle  $\Delta$  [14].

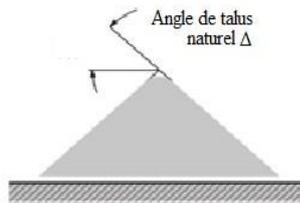


Figure II.2 Angle d'éboulement.

### II.2.1.2 Angle de surcharge ou d'éboulement du produit

C'est l'angle que forme l'horizontale avec la surface du produit lors de son transport sur une bande en mouvement ; Cet angle est généralement compris entre  $5^\circ$  et  $15^\circ$  (jusqu'à  $20^\circ$  pour certains produits) et est bien inférieur à l'angle d'éboulement [14].

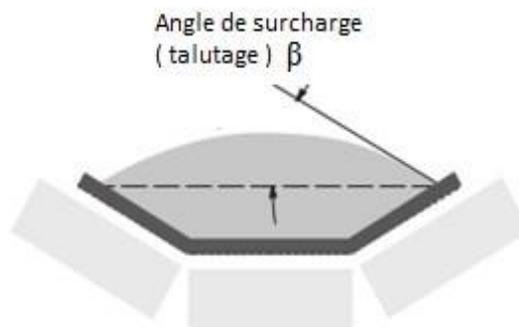


Figure II.3 Angle de surcharge.

### II.2.1.3 Dimension de matière (granulométrie)

Ce facteur est également important, notamment pour définir la largeur minimum de la bande à adopter. Donc Il faut étudier la distribution statistique des tailles d'une collection

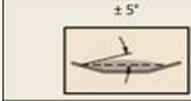
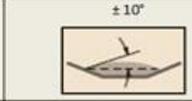
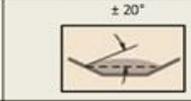
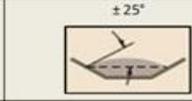
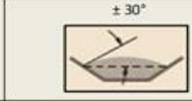
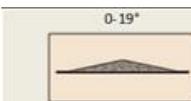
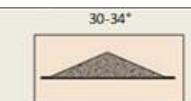
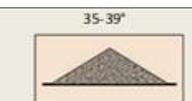
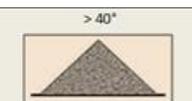
d'éléments finis de matière naturelle ou fractionnée a transporté, cette étude est connue par le nom granulométrie [1].

Les autres caractéristiques à connait sont la température, l'abrasive ; la corrosivité de la matière, humidité, etc.

En raison de leurs propriétés (chimique, toxique, etc.), certains matériaux peuvent constituer des risques pour les personnes ; ils peuvent aussi endommager la bande est les autres organes du convoyeur et écourter sa vie utile [15].

Le tableau ci-après donne les angles de talus naturel et de surcharge pour les principales catégories de matières :

**Tableau II.1** Angles de talutage d'éboulement et écoulement du produit [14].

Caractéristiques des produits				
- Dimensions uniformes - Particules arrondies, - Très petite taille. -Très humides ou secs	- Particules partiellement rondes - tailles moyenne	- Produit irrégulier, granulats de poids moyen	- Produits ordinaires	- Produits irréguliers, visqueux, fibreux dont l'état tend à se détériorer pendant la manutention.
Exemple de matière				
- Sable sec - Ciment - Calcaire humide - laitier	- Céréales - Grain - Haricots	- Argile - anthracite	- Charbon bitumineux - la plupart des minerais,	- Copeaux de bois, - sable de fonderie
<b>Fluidité très élevée</b>	<b>Fluidité élevée</b>	<b>Fluidité moyenne</b>	<b>Fluidité faible</b>	<b>Mauvais fluidité</b>
Angle de talutage $\beta$				
				
$\beta = 5^\circ$	$\beta = 10^\circ$	$\beta = 20^\circ$	$\beta = 25^\circ$	$\beta = 30^\circ$
Angle d'éboulement				
				
$\Delta = 0^\circ - 19^\circ$	$\Delta = 20^\circ - 29^\circ$	$\Delta = 30^\circ - 34^\circ$	$\Delta = 35^\circ - 39^\circ$	$\Delta = 40^\circ \text{ et plus}$

## II.2.2 Flux du produit transporté

Le flux est la masse ou le volume du produit transporté qu'il soit en vrac ou qu'il se présente sous forme de charge isolées par unité de temps considéré et en manutention continu. En prenons comme base de masse de ce produit :

- **Le débit massique  $Q_m$  [t/h]**

Et pour les produits en vrac en prenant comme base de densité apparente :

- **Le débit volumique ou la densité apparente**

$$Q_v = Q_m / \rho \quad [m^3/h] \quad (II.1)$$

Où  $\rho$  = densité apparente en  $[t/m^3]$

Ces deux valeurs vont déterminer la capacité de transport que doit avoir la bande transporteuse, dont il faut faire le choix. [1]

## II.2.3 Parcours ou dénivellation du produit transporté

C'est la distance séparant le centre de la zone d'alimentation et l'axe du tambour de déchargement.

Pour les transporteurs à bandes comportant une suite de pentes variables ou ayant un trajet mixte (horizontal et incliné) en prend les différences de niveau accessoires aux tronçons correspondants. [10]

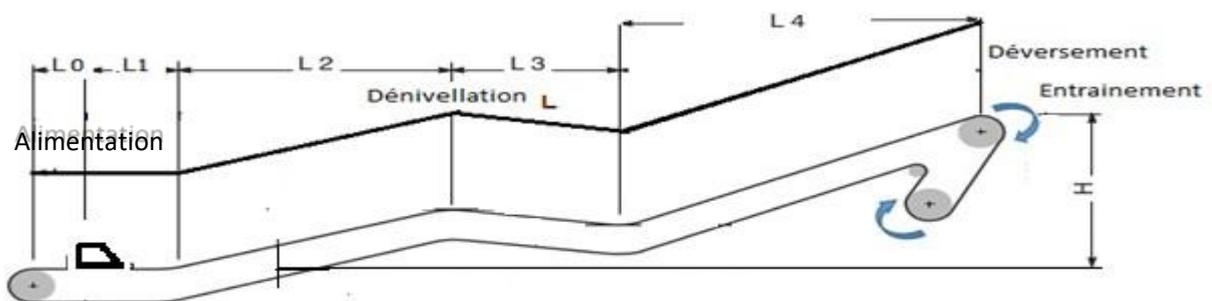


Figure II.4 Profil à hauteur variable.

## II.2.4 Type de transporteur

En choisissant un convoyeur, il faut tenir compte de :

- L'inclinaison du convoyeur,
- Les propriétés physiques du produit,

- Le revêtement supérieur de la bande.

L'utilisation des convoyeurs inclinés, provoque des différents problèmes de déversement peuvent survenir à la suite de glissement de l'ensemble de la charge vers le bas du convoyeur. Ce glissement peut également avoir une incidence directe sur le fonctionnement du convoyeur.

Pour éviter tous les dommages et les risques lors de déversement du produit, il faut faire attention sur le choix de la bande, en tenant compte les points suivants [10] :

- Largeur de bande,
- Tension maximale,
- Nombre de plis,
- Type de revêtement,
- Type de carcasse (matériau).

De même, le choix des tambours et des rouleaux est important, car une courroie peut être conçue pour ne fonctionner que sur des tambours de certains diamètres ou sur certains types de garnitures. L'usure ou les défaillances prématurées de la courroie et de ses épissures entraîneront des interventions qui présentent souvent des risques [1,10].

#### II.2.4.1 Largeur de bande

La largeur de la bande doit être, si possible, choisie parmi les dimensions courantes ou Normalisées, car elle conditionne par exemple la taille des rouleaux et celle d'autres éléments de fabrication du transporteur. La largeur minimum de la bande est dépendante de la grandeur maximum d'un morceau de matière ; Une formule généralement admise est la suivante [1] :

$$L \geq a.X + 200 \quad (\text{II.2})$$

Avec :

- $L$  = largeur de bande en [mm],
- $a$  = facteur de correction,
- $X$  = plus grande dimension d'un morceau de matière en [mm].

#### II.2.4.2 Surface transversale de matière

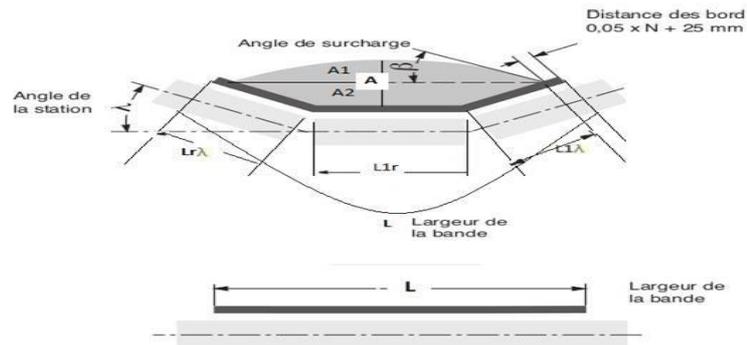
Comment on le voit, la surface  $A$  est égale à la somme de la surface d'un segment circulaire  $A1$  et celle de trapèze  $A2$ , ces deux surfaces sont dépendantes de 3 dimensions :

- Largeur de la bande,

- Angle entre rouleaux  $\lambda$ ,
- Angle de surcharge de la de la matière  $\beta$  [1].

La formule employée pour calculer cette surface est la suivante :

$$A=A1+A2=\frac{1}{4} \cdot \text{tang } \beta \cdot [L1r+(1-2 \cdot d-L1r) \cdot \text{con}\lambda]^2+Lr\lambda \cdot \text{sin}\lambda \cdot [L1\lambda + (Lr\lambda \cdot \text{cos}\lambda)] \quad (\text{II.3})$$



**Figure II.5** Aspect de la largeur de la bande.

Pour le calcul des dimensions de la bande, on doit tenir compte des valeurs minimales de la largeur de la bande en fonction de sa charge de rupture et de l'inclinaison des rouleaux latéraux, comme indiqué au **Tableau II.2** [15].

**Tableau II.2** Largeur minimale de la bande [14].

Charge de rupture (N/mm)	Largeur min. de lade (mm) ban		
	$\lambda= 20/25$	$^{\circ} \lambda= 30/35^{\circ}$	$\lambda= 45^{\circ}$
250	400		
315	400	400	400
400	400	400	400
500	450	450	450
630	500	500	500
800	500	600	600
1000	600	650	650
1200	600	800	800
1600	600	800	800

### II.2.4.3 Vitesse de la bande

Une augmentation de la vitesse de la bande entraîne une augmentation proportionnelle du volume de matériaux transportés et une conception économique de l'installation (une réduction au niveau de la conception des rouleaux et des stations-supports et de la tension de la bande, et ceci devient de plus en plus évident pour les longs trajets.

La vitesse doit être adaptée au type de matériaux transportés ainsi qu'au profil de la bande. La trémie d'alimentation doit aussi être adaptée à cette vitesse. [1]

$$V = \frac{Qv}{A \cdot 3600} = \frac{Qm \cdot \rho}{A \cdot 3600} \text{ en [m/s]} \quad (\text{II.4})$$

Ou :

- $Q_m$  = débit-masse en [t/h],
- $Q_v$  = capacité en [m<sup>3</sup>/h],
- $V$  = vitesse de la bande en [m/s],
- $A$  = Surface transversal matière en [m<sup>2</sup>],
- $\rho$  = densité apparent en [t/m<sup>3</sup>].

Pour un débit donné, des vitesses de bandes relativement faibles imposent une bande plus large ou une forme d'auge à plus grande capacité. Les forces de traction plus élevées sont compensées par une faible usure de la bande et le fait que le produit est plus ménagé pendant son transport [1]. A partir de données expérimentales, le **Tableau II.3** indique les vitesses maximales recommandées, compte tenu des caractéristiques physiques et de la granulométrie du produit transporté, ainsi que de la largeur de la bande utilisée [10].

**Tableau II.3** Vitesses maximales conseillées.

Granulométrie		Largeur min. Bande	Vitesse max.							
dimensions max.			M	B	C	D				
homogène	Mélangé									
jusqu'à mm	jusqu'à mm	mm	m/s							
50	100	400	2,5	2,3	2	1,65				
75	150	500								
125	200	650					3	2,75	2,38	2
170	300	800					3,5	3,2	2,75	2,35

250	400	1000	4	3,65	3,15	2,65
350	500	1200				
400	600	1400	4,5	4	3,15	3
450	650	1600				
500	700	1800	5	4,5	3,5	3
550	750	2000				
600	800	2200	6	5	4,5	4

A - Produit léger glissant, non abrasif, masse volumique de  $0.5 \div 1,0$  t /m<sup>3</sup>.

B - Produit non abrasif, granulométrie moyenne, masse volumique de  $1.0 \div 1.5$  t /m<sup>3</sup>.

C - Produit moyennement abrasif et lourd, masse volumique de  $1.5 \div 2$  t /m<sup>3</sup>.

D - Produit abrasif, lourd et présentant des arêtes aigües de plus de 2 t/m<sup>3</sup> de masse volumique.

#### II.2.4.4 Support de la bande

L'aspect sectionnelle de la bande transporteuse est donné par la disposition de ses éléments supports pour être conforme aux conditions d'exploitation et au débit requis.

La bande transporteuse est généralement supportée par des stations de rouleaux porteurs dont la longueur et les diamètres sont largement normalisé [14].

##### o Type de station support

Chaque station-support est constituée d'un ensemble de rouleaux installés dans un support fixe ; Il en existe deux principaux types :

#### 1. Les stations supérieures oui portent la bande chargée de produit sur le brin supérieur,

Elles Comportent généralement soit :

- Un ou deux rouleaux parallèles,
- Deux, trois rouleaux ou plus formant une auge. [14]



Figure II.6.a Rouleaux ordinaires ou muni de bagues caoutchouc



Figure II.6.b 2 rouleaux ordinaires ou amortisseurs de bagues caoutchouc

2. Les stations inférieures qui supportent la bande vide sur le brin inférieur ;

Elles peuvent être constituées :

- soit d'un ou deux rouleaux plats,
- soit d'une auge comprenant deux rouleaux.

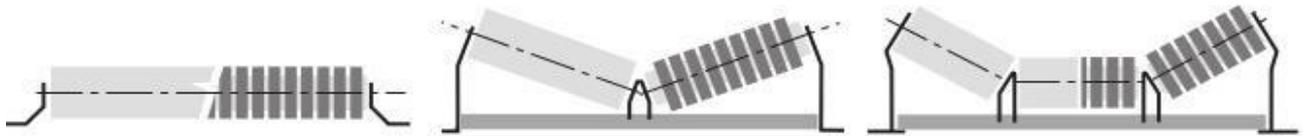


Figure II.6.c Rouleaux parallèles, Figure II.6.d 2Rouleaux parallèles, Figure II.6.e 3Rouleaux parallèles, ordinaires ou amortisseurs. ordinaires ou amortisseurs. ordinaires ou amortisseurs.

### II.2.5 Capacité de transporteur

Le produit transporté adopte la configuration indiquée sur le schéma en coupe [14].

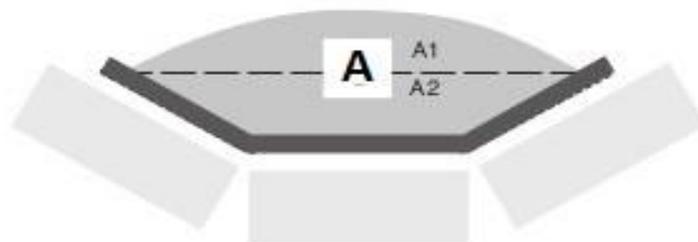


Figure II.7 Configuration du produit transporté.

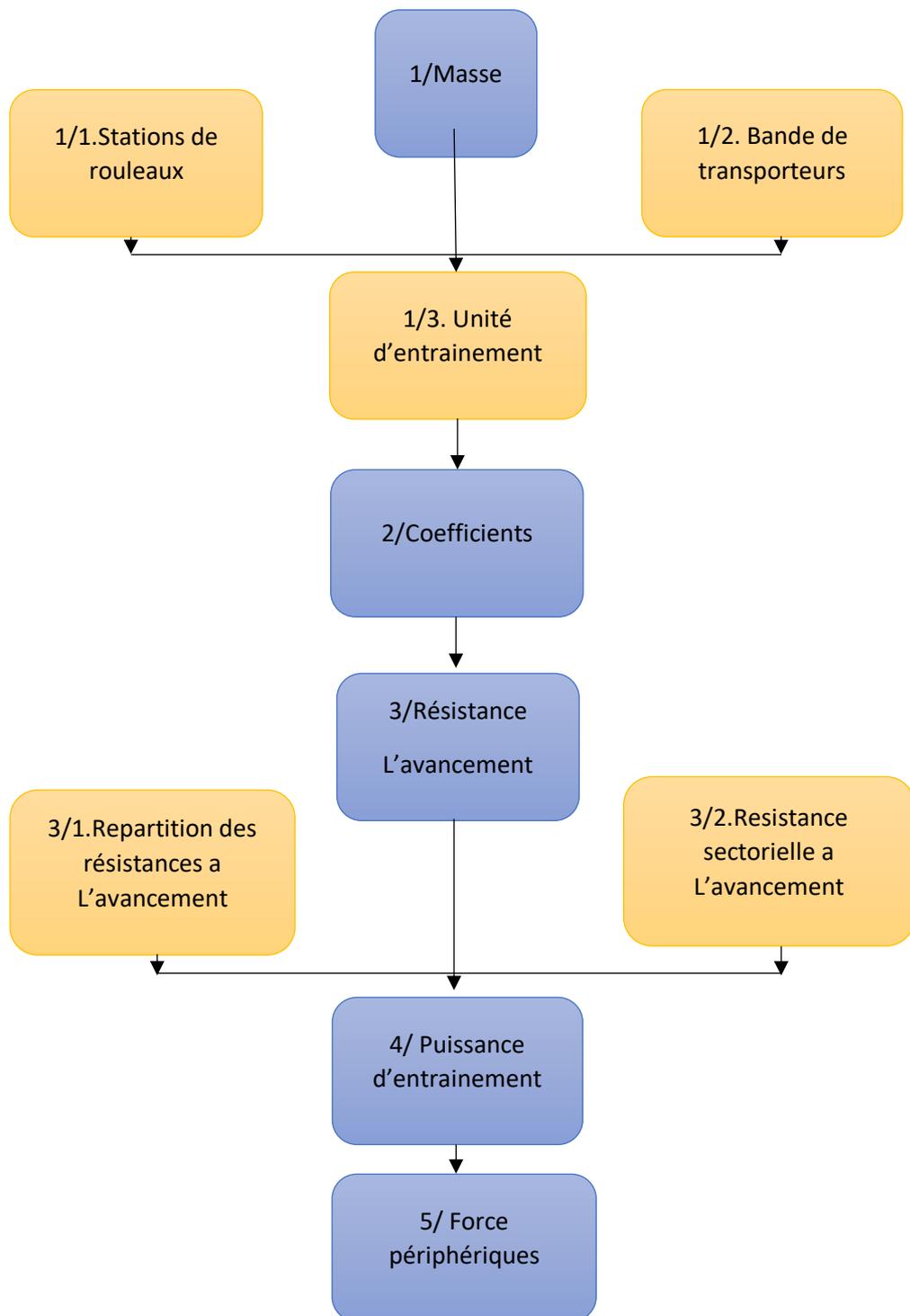
La capacité (exprimée en tonne/heure) est déterminée par le type de matériau à transporter, la largeur et la vitesse de la bande, la géométrie de l'auge, et l'inclinaison du convoyeur.

$$A = A1 + A2 \quad \text{en } [m^2] \quad (\text{II.5})$$

La capacité de transport du convoyeur à bande est résolue par la capacité sectionnelle **A** et la vitesse de translation **V** [14].

$$Qv = A.V. 3600 \quad \text{en } [m^3/h] \quad (\text{II.6})$$

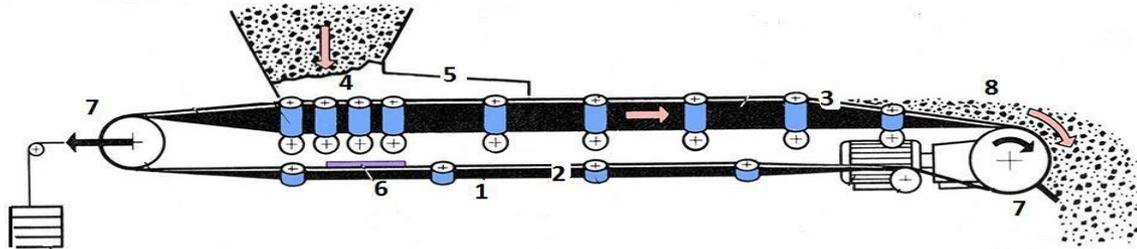
### II.3 Méthode de calcul du transporteur



**Figure II.8** Diagramme de la méthode de calcul du convoyeur à bande.

### II.3.1 Masses

Pour calculer la résistance à l'avancement qui détermine automatiquement la puissance d'entraînement nécessaire, Il faut donc compter la masse de la charge transportée, celle de la bande et celles des pièces tournantes des stations de rouleaux et les éléments d'entraînement (Totalisé tous les masses en mouvement sur tous le parcours) [1].



**Figure II.9** Résistance à l'avancement pour une bande transporteuse.

**Tableau II.4** Vitesses maximales conseillées.

1	Résistance à l'avancement des rouleaux – porteurs
2	Résistance localisées de la bande
3	Résistance localisées du produit
4	Résistance au niveau de l'alimentation
5	Résistance de frottement au niveau de la goulotte
6	Résistance produite par les racleurs
7	Résistance de flexion de la bande au niveau des tambours
8	Résistance ascensionnelles

#### II.3.1.1 Masse de la charge transportée

La masse  $m_L$  du produit transporté, appliquer sur une longueur d'un mètre du parcours s'obtient à partir du débit exprimé en masse et de la vitesse de translation [1]:

$$m_L = \frac{Q_m}{3,6 \cdot V} \quad [\text{kg} / \text{m}] \quad (\text{II.7})$$

Où :

- $m_L$ : Poids ou masse du produit en mètre linière,
- $Q_m$ : Débit exprimé en masse [t /h],
- $V$  : vitesse de translation de la bande [m/s].

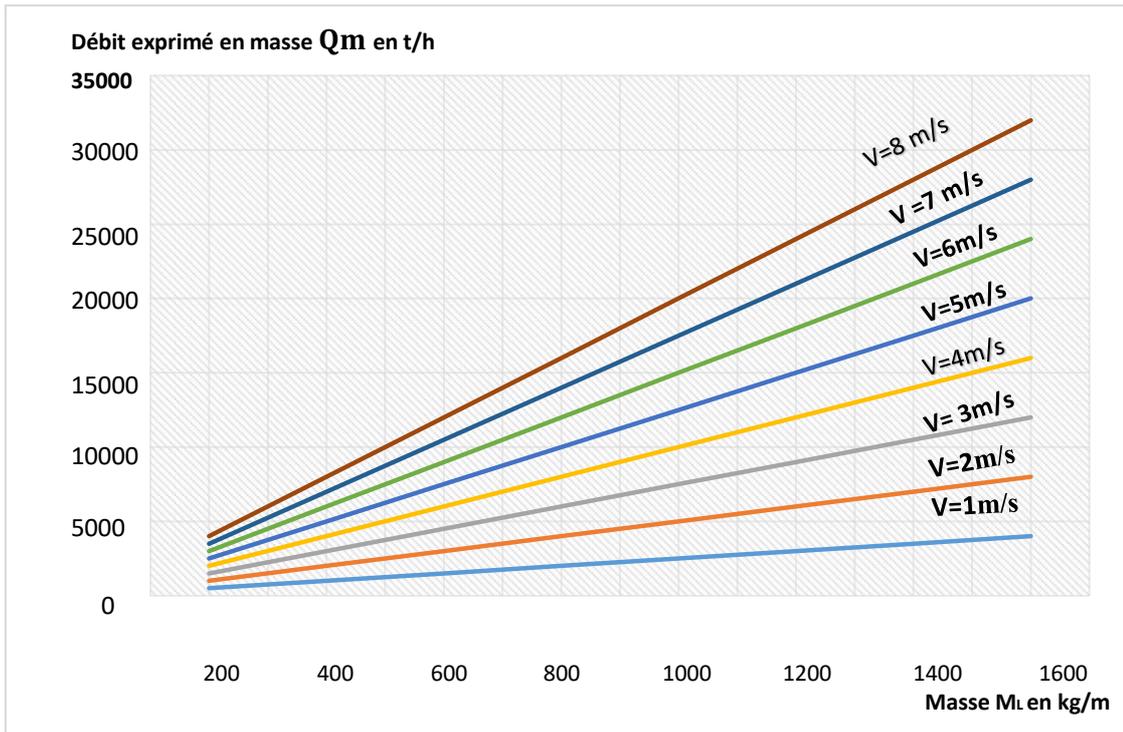


Figure II.10 Variation de la vitesse de translation en fonction de la masse et le débit massique.

### II.3.1.2 Masse de stations de rouleaux

- **Ecartement**

La distance entre deux stations-supports  $L_o$  la plus couramment utilisée pour le brin supérieur d'un convoyeur à bande est 1 mètre, alors que pour le brin inférieur les stations sont normalement espacées de 3 mètres  $L_u$  [14].

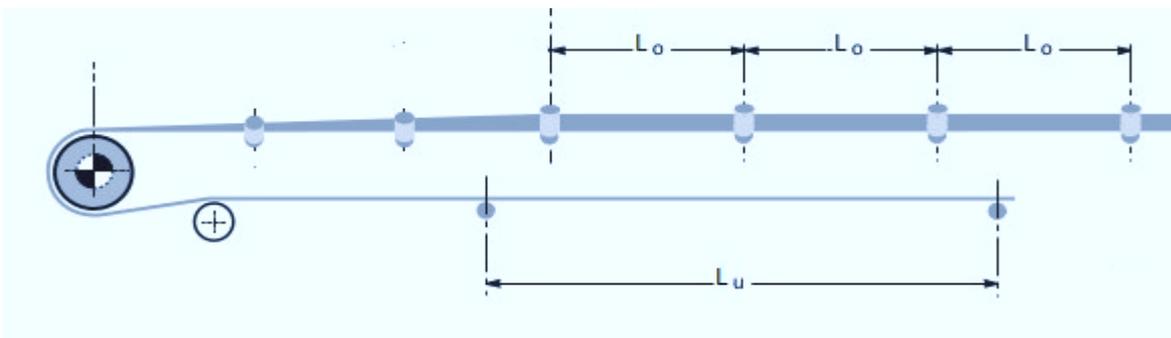


Figure II.11 Ecartement des stations-supports.

On obtient le poids des pièces tournantes supérieures  $m_{ro}$  et inférieures  $m_{ru}$  par la formule suivante : [1]

$$m_r = \frac{m_{ro}}{L_o} + \frac{m_{ru}}{L_u} \quad \text{en [kg / m]} \quad (\text{II.8})$$

Où :

- $m_{ro}$  = poids des pièces tournantes supérieures.
- $L_o$  = écartement ou espacement des stations supports supérieures.
- $m_{ru}$  = poids des pièces tournantes inférieures.
- $L_u$  = écartement ou espacement des stations supports supérieures.

### II.3.1.3 Masse de la bande transporteuse

La masse de la bande transporteuse est la somme de la masse de la carcasse  $m_z$  et de la masse des revêtements (inférieur et supérieur)  $m_d$ , la masse de bande  $m_G$  est exprimée par [6,13]:

$$m_G = m_z + m_d \quad [\text{kg / m}] \quad (\text{II.9})$$

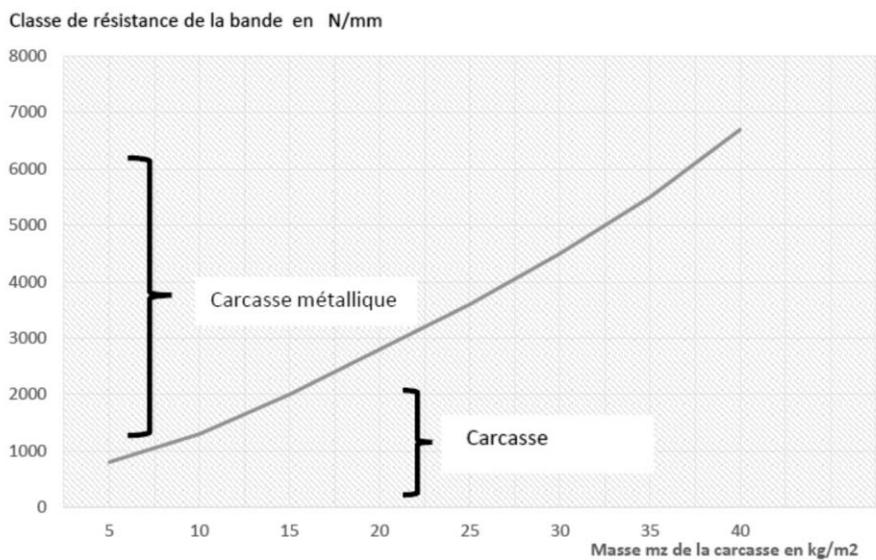


Figure II.12 Valeurs d'approximation pour le calcul de la masse de la carcasse.

### II.3.1.4 Masse d'éléments d'entraînement

La masse d'un élément d'entraînement tournant à la vitesse  $n$  en [tr / mn] agissant sur la vitesse réduite au niveau de la virole du tambour tournant à la vitesse  $V$  de la bande est [1]:

$$m_{red} = J \cdot \left(\frac{n}{V}\right)^2 \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right)^2 \quad [\text{kg}] \quad (\text{II.10})$$

Où :

- **J** = moment d'inertie des masses [**kg.m<sup>2</sup>**] ,
- **V** = vitesse de la bande [**m /s**],
- **n**= vitesse de rotation le l'élément tournant[ **tr/ mn**].

### II.3.2 Coefficients (coefficient de résistance)

• Le coefficient de frottement interne (coefficient de résistance) *f* qui est le produit d'un rapport entre les forces exercées par les masses et les résistances à l'avancement, donne les résistances principales **F<sub>H</sub>** de la bande transporteuse.

Les valeurs *f* tiennent compte de la somme des résistances à l'avancement des deux brins et d'une charge nominale de l'ordre de **70 à 110%** [1].

**Tableau II.5** Coefficient de frottement interne *f* des produits et des parties tournantes.

Convoyeur à bande horizontal montant et descendant légèrement	<i>f</i> pour vitesse en m/s					
	1	2	3	4	5	6
Pièces tournantes et produit présentant un frottement interne standard	0,0160	0,0165	0,0160	0,0170	0,0180	0,0220
Pièces tournantes et produit présentant un frottement interne élevé dans des conditions d'exploitation difficiles	de 0,023 à 0,027					
Pièces tournantes d'un convoyeur présentant une déclivité avec un frein moteur et/ou un générateur	de 0,012 à 0,016					

• Le coefficient de résistance passive (l'incidence de la température extérieure) peut être quantitativement retenue avec plus de précision pour autant que l'on obtienne des valeurs *f* peu différentes des valeurs indicatives après multiplication de *f* par le facteur **C<sub>T</sub>** [1].

**Tableau II.6** Coefficient de résistance passive en fonction de la température.

Température en °C	+20	+10	+0	-10	-20	-30
Facteur <b>C<sub>T</sub></b>	1	1,02	1,07	1,17	1,20	1,47

- Grâce au facteur de longueur  $C$  :

$$C = \frac{F_N + F_H}{F_H} \quad (\text{II.11})$$

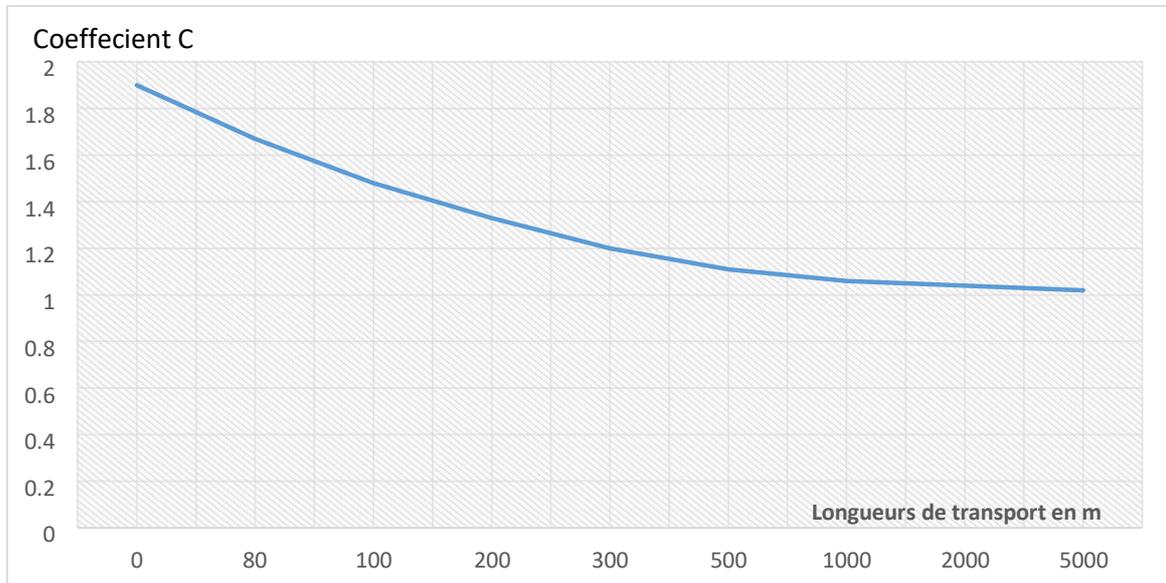


Figure II.13 Coefficient  $C$  en fonction de la longueur de transport  $L$ . [1]

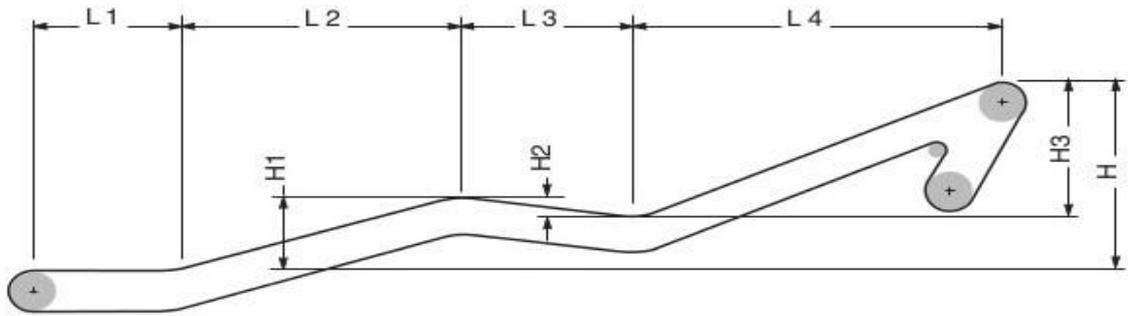
### II.3.3 Résistance à l'avancement $F_f$

On calcule le coefficient de frottement et  $f$  d'une bande transporteuse au moyen des coefficients  $C$  et  $f$  [1].

$$F_f = C f L [ m_r + ( 2.m_G + m_L ) ] g + H.m_L g \quad [\text{N}] \quad (\text{II.12})$$

Où :

- $C$  = coefficient de résistance passive,
- $f$  = coefficient de frottement des pièces tournantes (stations-supports),
- $L$  = entraxe du convoyeur [m],
- $m_G$  = poids de la bande par mètre linéaire en [Kg/m],
- $m_L$  = poids du produit transporté par mètre linéaire [Kg/m],
- $m_r$  = poids des parties tournantes en [Kg/m],
- $H$  = variation de la hauteur de la bande,
- $g$  = accélération de la pesanteur terrestre,  $g=0.981 \text{ m/s}^2$ .



**Figure II.14** Profil à hauteur variable.

Le coefficient de frottement à la traction  $F$  est constitué de plusieurs éléments [13] :

- Résistance principale  $F_H$

$$F_H = f L [ m_r + ( 2 \cdot m_G + m_L ) ] g \quad [N] \quad (II.13)$$

La résistance principale est l'élément du coefficient de frottement à la traction qui apparait dans le brin supérieur est dans le brin inférieur qui lui se trouve normalement non chargé, indépendamment de la différence de niveau  $H$  et qui est à rapprocher d'une force d'adhérence

- Résistance annexe  $F_N$

$$F_N = (C - 1) \cdot F_H \quad [N] \quad (II.14)$$

La résistance annexe est essentiellement causée par les efforts engendrés par les frottements et la mise en vitesse dans la zone d'alimentation et peut être exprimée avec une exactitude généralement suffisante pour les longueurs de transport supérieures à 80 m en appliquant le coefficient  $C$  en tant qu'élément de la résistance principale [13] .

- Résistance ascensionnelle  $F_{ST}$

$$F_{ST} = H \times m_L \times g \quad \text{en } [N] \quad (II.15)$$

La résistance ascensionnelle s'obtient en considérant d'une façon arbitraire, les efforts de flèches causés par les charges sur la bande transporteuse, car les efforts fournis par les flèches de la bande transporteuse elle-même (brin supérieur par rapport au brin inférieur) s'équilibrent [1].

D'autres résistances particulières  $F_s$ , faisant partie de la résistance à l'avancement  $F$ , peuvent apparaître et notamment des résistances causées par des rouleaux – porteurs pincés, par des

glissières disposées sur le parcours ou par des racleurs de jetée ; la valeur de ces résistances peut être dans chaque cas calculée d'après les indications de la bibliographie. Avec les éléments mentionnés plus haut, la résistance totale à l'avancement devient :

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_H + \mathbf{F}_N + \mathbf{F}_{St} + \mathbf{F}_S \quad (\text{II.16})$$

Et elle doit être vaincue, en exploitation par une force  $\mathbf{F}_U$  engendrée par un ou plusieurs tambours d'entraînement [13].

### II.3.3.1 Répartition des résistances à l'avancement

Certains éléments de la résistance principale  $\mathbf{F}_H$  apparaissent au niveau du brin supérieur et du brin inférieur lequel se trouve normalement non chargé. Les coefficients de résistance  $f_o$  ou  $f_u$  à appliquer ici peuvent être sensiblement égaux [1].

$$\mathbf{F}_{HO} = f_o L [ m_{ro} + m_G + m_L ] g \quad [\text{N}] \quad (\text{II.17})$$

$$\mathbf{F}_{HU} = f_u L [ m_{ru} + m_G ] g \quad [\text{N}] \quad (\text{II.18})$$

Avec  $f_o \approx f_u \approx f$

### II.3.3.2 Résistance à l'avancement par tronçon

La résistance à l'avancement des brins porteur et de retour d'un tronçon  $n$  deviendra avec la résistance principale  $\mathbf{F}_{Hn}$  et la résistance ascensionnelle  $\mathbf{F}_{ST}$  [1]

$$\mathbf{F}_n = f L_n [ m_{rn} + ( m_G + m_{Ln} ) ] g + H_n ( m_G + m_{Ln} ) g \quad [\text{N}] \quad (\text{II.19})$$

La résistance maximale à l'avancement, dont il doit être tenu compte pour le calcul, s'obtient en additionnant les différentes résistances à l'avancement

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_N + \mathbf{F}_n + \mathbf{F}_{(n+1)} + \mathbf{F}_{(n+2)} + \dots \quad (\text{II.20})$$

### II.3.4 Puissance d'entraînement $P_{Tr}$

La puissance d'entraînement nécessaire d'un transporteur, qui doit être transmise à la bande par un seul ou simultanément par plusieurs tambours est donnée par la formule :

$$\mathbf{P}_{Tr} = \frac{F \times V}{100 \times \eta} \quad [\text{Kw}] \quad (\text{II.21})$$

à partir de la résistance à l'avancement  $F$ .

### II.3.3.5 Force périphérique $F_u$

Les forces tangentielles sont engendrés au niveau des tambours d'entraînement, qu'ils exercent un effort de traction ou de retenue, et sont transmises à la bande pour toutes les forces agissant sur celle-ci.

$$F_u = F = \frac{PT_r \times V}{100 \times \eta} \quad [\text{N}] \quad (\text{II.22})$$

Les forces périphériques peuvent agir sur la bande tout en étant réparties sur un seul ou sur plusieurs tambours [10].

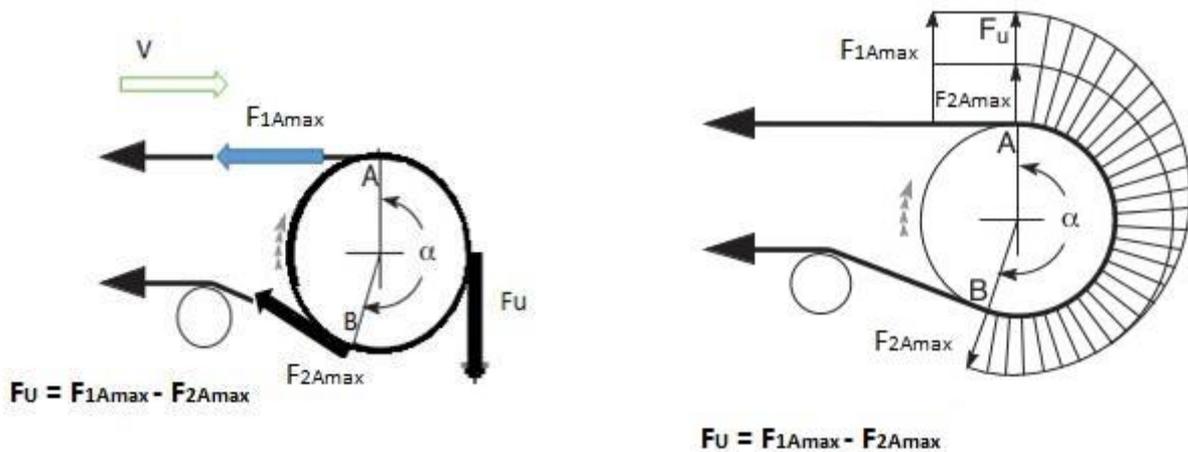


Figure II.15 Distribution des forces de traction.

Les forces de traction sur la bande, engendrées dans les zones de l'enroulement et du déroulement des tambours d'entraînement, sont d'une importance déterminante pour la suite des calculs. Pour une bande tractée, la force périphérique  $F_u$  est positive et de cette façon  $F_{1Amax}$  plus grand que  $F_{2Amax}$ , alors que pour des forces tangentielles négatives, en d'autres termes, pour une bande retenue,  $F_{2Amax}$  est supérieur à  $F_{1Amax}$ .

Dans le cas d'une bande tractée, on obtient l'effort de traction nécessaire pour transmettre par frottement la force circonférentielle  $F_u$  grâce à la condition limite [1] :

$$\frac{F_{1Amax}}{F_{2Amax}} \leq e^{\mu\alpha} \quad (\text{II.23})$$

Où :

- $\mu$  = Coefficient de frottement bande/ tambour et l'arc d'enroulement de la bande sur le tambour,
- $e$  = base logarithmique naturelle **2.718**.

Pour une exploitation complète de la transmission, la force de traction nécessaire dans la partie descendante de la bande est :

$$F_{2Amax} = F_u \cdot C_2 \quad (\text{II.24})$$

Avec le facteur d'entraînement :

$$C_2 = \frac{1}{e^{\mu\alpha-1}} \quad (\text{II.25})$$

La force de traction T1 dans la zone d'enroulement de la bande devient :

$$F_{1Amax} = F_u \cdot C_1 \quad (\text{II.26})$$

Avec le facteur d'entraînement :

$$C_1 = 1 + \frac{1}{e^{\mu\alpha-1}} \quad (\text{II.27})$$

La force périphérique est donc :

$$F_u = F_{1Amax} - F_{2Amax} \quad (\text{II.28})$$

$$\text{Dont :} \quad C_2 = C_1 - 1 \quad (\text{II.29})$$

## II.4 Comportement dynamique du convoyeur à bande en mode transitoire

Le régime transitoire est le régime d'évolution d'un convoyeur à bande, qui n'a pas encore atteint un état stable ou le régime établi ; Le démarrage et l'arrêt sont des conditions de service temporaires et limitées dans le fonctionnement transitoire, au cours desquelles la vitesse de la bande se trouve modifiée par une accélération ou un ralentissement supposés constant.

Dans le cas du convoyeur à bande avec une vitesse d'alimentation en matériau variable, la vitesse du convoyeur doit être régulée fréquemment pour correspondre à la vitesse de chargement du matériau variable de telle sorte que la capacité volumétrique du convoyeur soit pleinement utilisée ; Dans l'opération transitoire, une accélération inadéquate peut entraîner des risques potentiels discutés ci-dessous.

## II.5 Risques potentiels en fonctionnement transitoire

Le couple d'entraînement transmis à la bande par l'intermédiaire de la poulie d'entraînement crée une onde de contrainte comme :

### II.5.1 Surtension de la bande

Pour une certaine bande transporteuse, la cote de tension de la bande est donnée comme une constante, et la tension de la bande est principalement déterminée par la force de sa carcasse ; Dans le cas d'une accélération, quand la tension de la bande dépasse les niveaux de tension admissibles déterminés par la tension nominale de la bande, celle-ci risque de se rompre au niveau d'une jonction.

Généralement, le risque le plus élevé de surtension de la bande dans un convoyeur horizontal se produit dans la zone située juste avant le tambour d'entraînement.

Ainsi, dans l'opération d'accélération, la tension de la bande avant le tambour d'entraînement doit être surveillée, en particulier lorsque la bande est complètement chargée.

### **II.5.2 Glissement (patinage) de la bande autour de tambour d'entraînement**

Le patinage de la bande autour de tambour d'entraînement indique, que si le couple d'entraînement exercé sur le tambour d'entraînement est plus grand que ce qui est autorisé, la bande glissera autour de tambour.

Le glissement de la bande peut entraîner une usure importante du couvercle inférieur de la convoyeur, alors un blocage de la goulotte d'alimentation de la bande ou un déversement de matériau peut se produire.

### **II.5.3 Surchauffe du moteur**

Le couple nominal du moteur est le couple continu maximum disponible à la vitesse de conception qui permet au moteur de faire le travail sans surchauffe.

Dans les opérations d'accélération pratiques, le couple de service maximal doit être supérieur au couple nominal pendant une courte période. Le rapport entre le couple de service maximum et le couple nominal est défini comme facteur de service.

Dans le contrôle de vitesse active, le couple de service du moteur ne doit pas dépasser le permis. Sinon, le moteur peut surchauffer.

### **II.5.4 Déversement de matériel.**

En raison des propriétés élastiques de la bande, l'opération d'accélération provoque les fluctuations de la tension et de la vitesse de la bande. Si l'amplitude de la fluctuation de la vitesse de la bande est excessive, la bande à proximité de la zone de chargement peut être surchargée et du matériau en vrac peut être déversé de la bande.

En plus de la fluctuation de la vitesse de la bande, la grande fluctuation de la tension de la bande peut également entraîner le déversement de la matière causée par les changements brusques de l'affaissement de la bande. Si la tension de la bande est trop faible et que la bande chute sensiblement entre les rouleaux, alors un déversement peut se produire, et le matériau en vrac peut être déversé à partir de la bande.

## II.6 Méthode d'obtention d'un fonctionnement d'accélération approprié avec le moins de temps d'accélération

Dans la recherche de la dynamique du convoyeur à bande, les chercheurs se concentrent principalement sur le fonctionnement d'un démarrage progressif et / ou d'un arrêt progressif.

En fonctionnement transitoire, les grandes accélérations peuvent entraîner une performance dynamique du convoyeur non acceptable et surtout en contrôle de vitesse active. Pour éviter les risques mentionnés en haut, le temps d'accélération devrait être suffisamment long, car il détermine la faisabilité du contrôle de la vitesse et influe sur les économies d'énergie.

Pour améliorer la faisabilité et obtenir plus d'économies d'énergie, une méthode en trois étapes est présentée qui est prévu pour réaliser l'opération d'accélération appropriée avec un temps d'accélération minimum.

Cette méthode tient compte à la fois des risques potentiels et de la dynamique du convoyeur.

### II.6.1 Initiation :

En ce qui concerne les risques potentiels, l'amorçage prend en compte la tension nominale de la bande et le facteur de sécurité, le patinage de la bande autour de la poulie d'entraînement et le couple nominal du moteur pour estimer l'accélération autorisée  $a_{max}$ .

$$a_{max} = \min (a_{max.surtension}, a_{max.glissement}, a_{max.surchauffe}) \quad (II.30)$$

Où :

- $a_{max.surtension}$  = accélérations maximales en tenant compte en  $[m/s^2]$  du risque de surtension de la bande,
- $a_{max.glissement}$  = accélérations maximales en tenant compte en  $[m/s^2]$  du risque de glissement de la bande,
- $a_{max.surchauffe}$  = accélérations maximales en tenant compte en  $[m/s^2]$  du risque de surchauffe du moteur thermique.

On peut obtenir le temps d'accélération initial  $T_{a,min}$ , en prenant en compte les profils d'accélération cité an haut.

$$T_{amin} = C' \frac{\Delta V}{a_{max}} \quad (II.31)$$

Où :

- $\Delta V$  = plage de régulation de vitesse [**m /s**],
- $a_{\max}$  = accélérations maximales [**m /s<sup>2</sup>**],
- $C'$  = coefficient de profil d'accélération.

La présentation mathématique du profil d'accélération sinusoïdale peut s'écrire comme suit :

$$a(t) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta V}{T_0} \cdot \sin \frac{\pi t}{T_a} \quad (\text{II.32})$$

$$V_a(t) = \frac{\Delta V}{2} \cdot 1 - \cos \frac{\pi t}{T_a} + V_0 \quad 0 \leq t \leq T_a$$

Où :

- $V_0$  = Vitesse d'origine avant l'accélération [**m /s**],
- $T_0$  = Temps d'accélération [**s**],

Lorsque  $t$  est égal à  $T_a/2$ , nous pouvons obtenir l'accélération maximale.

$$a_{\max} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Delta V}{T_0} \quad (\text{II.33})$$

Ensuite, en cas de profil d'accélération sinusoïdale, le coefficient  $C'$  est égal à  $\pi / 2$ .

### II.6.1.1 Tension nominale de la bande et facteur de sécurité

#### - En régime transitoire

La tension de la bande est nécessaire pour éviter le risque de surtension ; Pour définir la limitation de la force de traction de la bande en fonctionnement transitoire, on introduit le concept de facteur de sécurité qui est issu de la norme **DIN [5]**. Sur la base du **DIN**, le facteur de sécurité **S** est mathématiquement défini comme suite :

$$S = \frac{K_n \cdot B}{F_{\max}} \quad (\text{II.34})$$

Où :

- $K_n$  = La tension nominale de la courroie par unité de largeur en [**kN/m**],
- $B$  = La largeur de la bande transporteuse en [**m**],
- $F_{\max}$  = la force de traction max admissible de la bande en [**kN /m**].

En ce qui concerne le risque de surtension de la bande, le **DIN** suggère que le facteur de sécurité effectif  $S_A$  max en accélération doit satisfaire à la formule suivante :

$$S_A = \frac{K_n \cdot B}{F_{A\max}} \geq S_{Anim} \quad (\text{II.35})$$

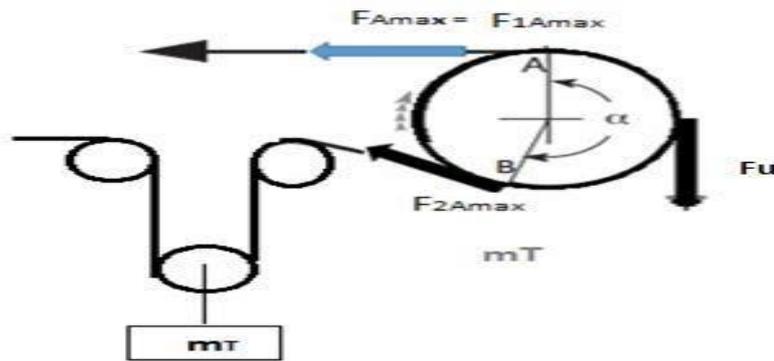
Où :

- $F_{Amax}$  = la force de traction admissible de la bande en opération d'accélération,
- $S_{Amin}$  = Le facteur de sécurité minimum autorisé.

Ainsi, dans l'opération d'accélération, la force de traction admissible  $F_{Amax}$  est :

$$F_{Amax} = \frac{K_n \cdot B}{S_{Anim}} \quad (\text{II.36})$$

Illustre les forces de tension de la bande autour du tambour d'entraînement et la force de traction maximale de la bande se produit avant le tambour d'entraînement :



**Figure II.16** Force de traction exercées sur la bande en opération d'accélération.

Dans l'opération d'accélération :

$$F_{Amax} = F_{1Amax} \quad (\text{II.37})$$

Ensuite, en régime transitoire, la force d'entraînement autorisée  $F_U$  exercée sur la poulie motrice est :

$$F_U = F_{1Amax} - F_{2Amax} = F_{Amax} - F_{2Amax} \quad (\text{II.38})$$

Où  $F_{2Amax}$  représente la force maximale de traction de la bande après la poulie de plongée. Dans le cas d'un convoyeur à bande qui est tendu par un dispositif de reprise par gravité de masse  $m_T$ , la force de traction de la bande  $F_{2Amax}$  est égale à :

$$F_{2max} = \frac{1}{2} m_T \cdot g \quad (\text{II.39})$$

Où :

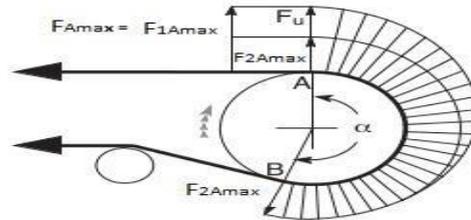
- $g = 9,81$  en  $m/S^2$ , accélérateur de la pesanteur terrestre.

Ici, l'accélération du dispositif d'enroulement est négligée et la force de la bande  $F_{2Amax}$  est supposée rester constante, d'après Les deux équations (II.37) et (II.39)  $F_U$  peut être réécrit comme suit :

$$\mathbf{F_u} = \frac{k_n \cdot B}{S_{Amin}} - \frac{1}{2} \mathbf{m_T} \cdot \mathbf{g} \quad (\text{II.40})$$

En fonctionnement transitoire, les forces d'entraînement périphériques  $\mathbf{F_u}$  sur le tambour d'entraînement sont égales aux sommes des forces nécessaires pour surmonter les résistances de mouvement  $\mathbf{F_{fmax}}$  et les forces d'entraînement supplémentaires  $\mathbf{F_{acmax}}$  causées par l'accélération.

$$\mathbf{F_u} = \mathbf{F_{fmax}} + \mathbf{F_{acmax}} \quad (\text{II.41})$$



**Figure II.17** Distribution des forces de traction exercées sur la bande en régime transitoire.

Les résistances de mouvement sont constituées de résistances principales, de résistances secondaires, de résistances de pente et de résistance spéciale.

Selon **DIN 22101** [5], les résistances principales  $\mathbf{F_H}$  et secondaires représentent plus de **95%** des résistances totales dans le cas de convoyeurs à bande horizontaux ; Par conséquent, il est admissible de négliger la résistance de la pente et la résistance spéciale pour un convoyeur à bande horizontale, puis les résistances de mouvement maximales ( le max de la résistance à l'avancement  $\mathbf{F_f}$ ) sont approchées par :

$$\mathbf{F_{fmax}} = \mathbf{C.f.L.g} [ \mathbf{m_r} + ( \mathbf{2.m_G} + \mathbf{m_L} ) ] \quad (\text{II.42})$$

Où :

- $\mathbf{C}$  = coefficient de résistance secondaire (passive),
- $\mathbf{f}$  = coefficient de frottement artificiel des pièces tournantes (stations-supports),
- $\mathbf{g}$  = accélération gravitationnelle en  $[\mathbf{m/s^2}]$ ,
- $\mathbf{L}$  = entraxe du convoyeur en  $[\mathbf{m}]$ ,
- $\mathbf{m_G}$  = masse de la bande par mètre linéaire en  $[\mathbf{Kg}]$ ,
- $\mathbf{m_L}$  = masse du produit transporté par mètre linéaire en  $[\mathbf{Kg}]$ ,
- $\mathbf{m_r}$  = masse des parties tournantes en  $[\mathbf{Kg}]$ .

Selon la deuxième loi du mouvement de Newton, les forces nécessaires pour surmonter l'inertie sont :

$$\mathbf{F}_{acmax} = \mathbf{a}_{max} \cdot \mathbf{L}(\mathbf{m}_r + 2\mathbf{m}_G + \mathbf{m}_L) \quad (\text{II.43})$$

Puis en combinant les Eqs. (3.11) - (3.14), l'accélération maximale autorisée  $\mathbf{a}_{max,tension}$  en tenant compte du risque de surtension de la bande est :

$$\mathbf{a}_{max,tension} = \frac{\frac{K_n \cdot B}{S_{Amin}} - \frac{1}{2} m_T}{L(\mathbf{m}_r + 2\mathbf{m}_G + \mathbf{m}_L)} - \mathbf{C} \cdot \mathbf{f} \cdot \mathbf{g} \quad (\text{II.44})$$

### - En régime permanent

La tension de la bande  $\mathbf{F}_{Bmax}$ , autorisée est égale à :

$$\mathbf{F}_{Bmax} = \frac{K_n}{S_{Bmin}} \quad (\text{II.45})$$

Où :

$S_{B,min}$  est le facteur de sécurité minimum correspondant. Même avec un fonctionnement transitoire, la force de traction maximale de la bande en régime permanent se produit également avant le tambour d'entraînement :

$$\mathbf{F}_{Bmax} = \mathbf{F}_{1Bmax} \quad (\text{II.46})$$

En condition de fonctionnement stable, la relation entre les forces de traction de la bande autour de la poulie d'entraînement est :

$$\mathbf{F}_{2Bmax} = \mathbf{F}_2 = \frac{1}{2} \mathbf{m}_T \cdot \mathbf{g} \quad (\text{II.47})$$

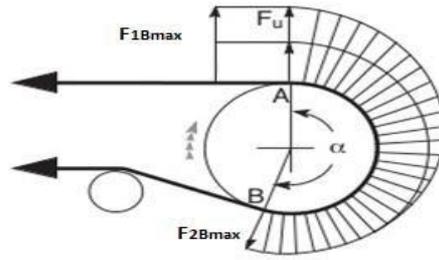
$$\mathbf{F}_U = \mathbf{F}_f = \mathbf{C} \cdot \mathbf{f} \cdot \mathbf{L} \mathbf{g} [ \mathbf{m}_r + ( 2 \cdot \mathbf{m}_G + \mathbf{m}_L ) ] \quad (\text{II.48})$$

$$\mathbf{F}_{1Bmax} = \mathbf{F}_{2Bmax} + \mathbf{F}_U \quad (\text{II.49})$$

Où

$\mathbf{F}_{1Bmax}$  et  $\mathbf{F}_{2Bmax}$  sont la force de traction de la bande avant et après le tambour d'entraînement, et  $\mathbf{F}_U$  est la force motrice en condition de fonctionnement stable (**Figure II.50**), Par remplacement des équations (II.45), (II.46) et (II.47) dans l'équation (II.44)  $K_N$  devient :

$$K_N = \left( \frac{\frac{1}{2} m_T g + C f L g (m_r + 2 m_G + m_L)}{B} \right) S_{Bmin} \quad (\text{II.50})$$



**Figure II.18** Distribution des forces de traction exercées sur la bande en régime permanent.

Alors il est sûr de remplacer l'équation (II.48) dans l'équation (II.43) est réécrit l'accélération maximale en fonctionnement transitoire :

$$a_{\max, \text{tension}} = \left( \frac{m_T g}{2L(m_r + 2m_G + m_L)} - C. f. g \right) \frac{S_{B\min} - S_{A\min}}{S_{A\min}} \quad (\text{II.51})$$

### II.6.1.2 Glissement de la bande autour de tambour d'entraînement

En mode d'accélération, un autre risque est le glissement de la bande autour du tambour d'entraînement. Pour détecter la possibilité de glissement de la bande, le concept de facteur d'enveloppement est introduit.

La formule d'Euler-Eytelwein [15] stipule que le rapport entre les forces de tension de la bande avant et après le tambour d'entraînement doit être inférieur à la valeur définie afin d'empêcher le patinage de ce tambour d'entraînement :

$$\frac{F_{1A}}{F_{2A}} \leq e_{\mu\alpha} \quad (\text{II.52})$$

Où  $F_{1A}$ ,  $F_{2A}$  sont les forces de tension de la bande avant et après le tambour d'entraînement, et  $C_w$  représente le facteur d'enveloppement qui est la valeur définie mentionnée.

Si le rapport est supérieur au facteur d'enveloppement, la bande glisse autour du tambour d'entraînement.

Dans l'équation (II.50) le facteur d'enveloppement dépend du coefficient de frottement  $\mu$  entre la bande et le tambour moteur et de l'angle d'enroulement  $\alpha$  de la bande autour de le tambour moteur :

$$C_w = e_{\mu\alpha} \quad (\text{II.53})$$

Dans le cas d'un convoyeur avec dispositif de réception par gravité, l'équation (II.48) prend la forme suivante :

$$F_{1A\max} = F_{2A} \cdot C_w = \frac{1}{2} m_T \cdot g \cdot e_{\mu\alpha} \quad (\text{II.54})$$

Puis en combinant les équations (II.40),(II.42) et (II.50) donne l'accélération autorisée  $a_{\max, \text{glissement}}$  en tenant compte du glissement de la bande :

$$a_{\max, \text{glissement}} = \left( \frac{(e^{\mu\alpha} - 1)m_T g}{2L(m_r + 2m_G + m_L)} - C_f g \right) \quad (\text{II.55})$$

### II.6.1.3 Couple de serrage du moteur

Le couple moteur nominal  $T_{\text{nom, moteur}}$  qui exerce un couple sur le tambour d'entraînement influence directement l'accélération autorisée .

Le couple nominal est le couple continu maximum disponible à la vitesse de conception qui permet au moteur de faire le travail sans surchauffe. Mais dans les opérations d'accélération pratiques, le couple de service maximal  $T_{\text{max, couple}}$  peut être supérieur au couple nominal sur une courte période. Le rapport entre le couple maximal de service et le couple nominal est défini comme le facteur de service  $i_{sf}$ .

$$i_{sf} = \frac{T_{\text{max, moteur}}}{T_{\text{nom, moteur}}} \quad (\text{II.56})$$

Ce qui indique la capacité du moteur à tolérer la surcharge sans surchauffe. Par exemple, le facteur de service standard pour les moteurs à gouttière ouverte est de **1,15**.

En accélération, en particulier en régulation de vitesse active, si le couple moteur est supérieur au couple autorisé, une surchauffe du moteur peut se produire. En raison de l'inertie du moteur et de la boîte, nous obtenons le couple maximal d'entraînement  $T_{\text{max, tambour}}$  sur le tambour d'entraînement.

$$T_{\text{max, tambour}} = i_{rf} \cdot T_{\text{max, moteur}} = i_{rf} \cdot i_{sf} \cdot T_{\text{nom, moteur}} \quad (\text{II.57})$$

Où

- $i_{rf}$  représente le facteur de réduction de la boîte de vitesses.

Ensuite, les forces d'entraînement autorisées  $F_{\text{max}}$  sur la poulie d'entraînement sont :

$$F_{\text{max}} = \frac{T_{\text{max, tambour}}}{R_d} = \frac{i_{rf} \cdot i_{sf} \cdot T_{\text{nom, moteur}}}{R_d} \quad (\text{II.58})$$

dans lequel  $R_d$  est le rayon de le tambour d'entraînement.

En prenant compte de l'influence de l'inertie du moteur et de la boîte de vitesses, nous pouvons remplacer l'équation. (II.56) dans l'équation(II.41) on obtient l'équation de l'accélération admissible.

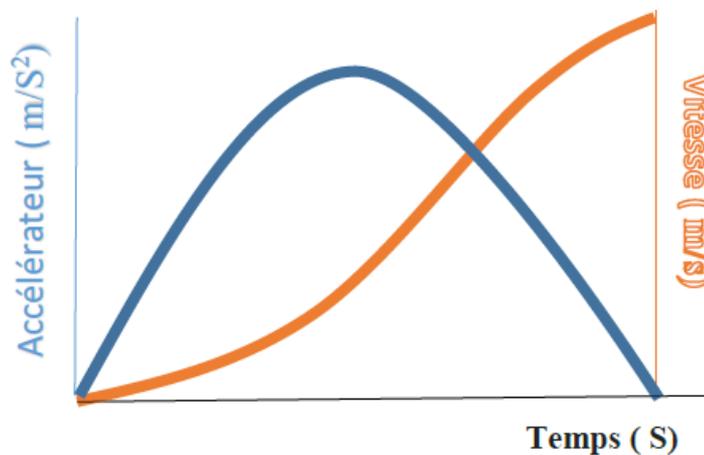
$$a_{\max, \text{surchauffe}} = \left( \frac{i_{rf} \cdot i_{sf} \cdot T_{\text{nom.moteur}} - R_d \cdot C_{fg} L (m_r + 2m_G + m_L)}{R_d [L (m_r + 2m_G + m_L) + m_{\text{moteur}} + m_{\text{équipement}}]} \right) \quad (\text{II.59})$$

Où  $m_{\text{moteur}}$  et  $m_{\text{équipement}}$  représentent respectivement l'inertie du moteur et de la boîte de vitesses réduite à une masse sur le rayon de la poulie menant.

#### II.6.1.4 Profil d'accélération

Dans [13], il est montré que la grande secousse mécanique est l'une des principales causes des grandes fluctuations de vitesse et de tension de la bande. La secousse mécanique est la première dérivée de l'accélération ou de la décélération par rapport au temps. Comme on l'a vu précédemment, une fluctuation excessive de la vitesse et de la tension de la bande peut entraîner le déversement de la matière ; Dans [16], un profil d'accélération sinusoïdal est recommandé pour réduire la secousse mécanique pour réaliser un démarrage progressif.

La **Figure II.19** illustre le profil d'accélération sinusoïdal et les courbes de vitesse sont également données ; le profil d'accélération sinusoïdale est utilisé et il est supposé qu'avec l'application d'un profil d'accélération sinusoïdal, le problème de la secousse mécanique peut être évité.



**Figure II.19** Profils d'accélération et courbes de vitesse avec accélération autorisée. [1]

#### II.6.2 Estimation de l'accélération autorisée

Pour estimer l'accélération autorisée, des équations sont effectuées en tenant compte de la tension nominale de la bande, du facteur de sécurité, du facteur d'enroulement et du couple

nominal du moteur ; En prenant le profil d'accélération, le temps d'accélération requis est également initialisé.

L'opération d'accélération avec le temps d'accélération initial devrait être appropriée et tous les risques mentionnés devraient être évités. Cependant, il convient de souligner que dans l'étape d'initiation, la bande est traitée comme un objet rigide et l'effet de la dynamique de la bande est négligé. Si l'on prend en compte la dynamique du convoyeur, l'accélération avec le temps d'accélération initial peut entraîner des risques.

Pour calculer l'opération d'accélération, des simulations sont effectuées pour analyser la performance dynamique du convoyeur.

### II.6.3 Optimisation

En ce qui concerne les quatre risques potentiels, la première étape estime l'accélération autorisée et initialise le temps d'accélération en fonctionnement transitoire. Pour calculer l'accélération avec le temps d'accélération initial, des simulations sont effectuées pour analyser, les performances dynamiques de la bande et du moteur en régime transitoire. **Le tableau 1** illustre les risques communs et leurs solutions suggérées. En ce qui concerne le fait qu'il n'est pas pratique de modifier la conception d'un convoyeur existant, la méthode générale d'amélioration consiste à allonger le temps d'accélération et à réduire la valeur maximale de l'accélération. Cependant, le temps d'accélération ne peut être indéfiniment prolongé du fait que le temps d'accélération long affaiblit la faisabilité du contrôle de vitesse et diminue la capacité de réduire les consommations d'énergie du convoyeur.

**Tableau II.7** Les risques d'échec et leurs solutions.

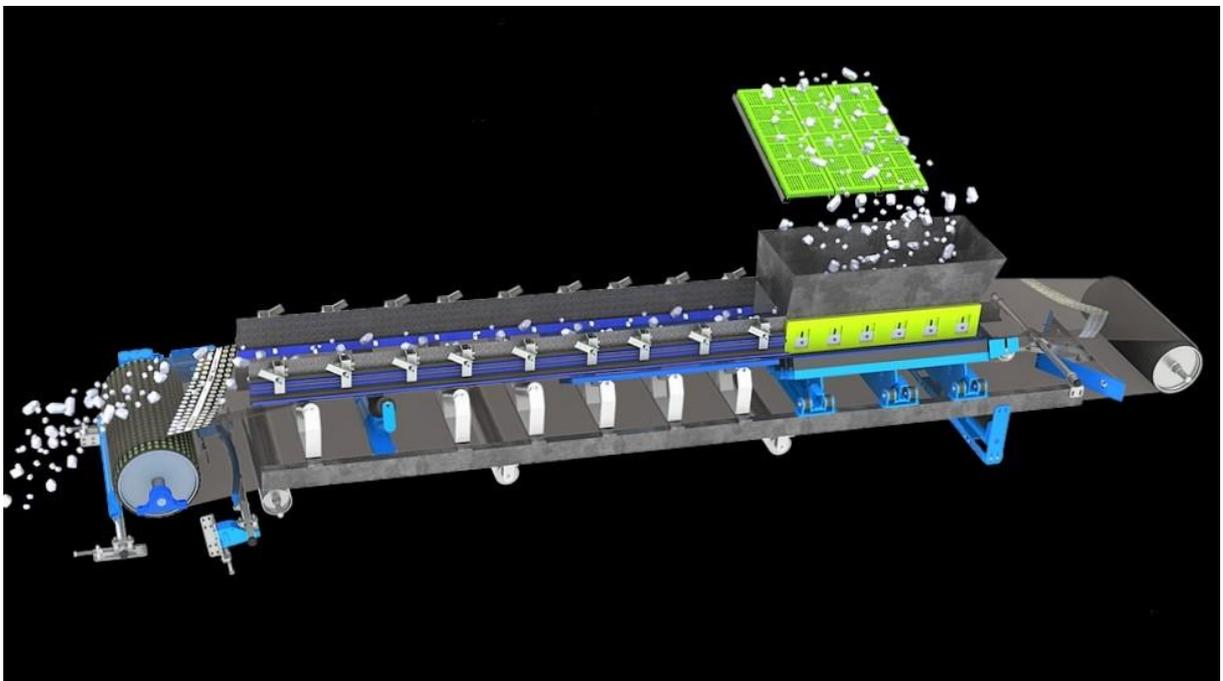
Risque d'échec	Critères relatifs	Solutions conseillées
Surtension de la ceinture dans la zone d'épissure.	Tension nominale.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplacer une nouvelle courroie avec une tension nominale plus élevée.</li> <li>- Prolonger le temps d'accélération et réduire le pic d'accélération.</li> <li>- Diminuer la masse des appareils</li> </ul>
Glissement de la courroie autour de la poulie d'entraînement.	Facteur d'enveloppement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmenter la masse du dispositif de réception.</li> <li>- Augmentez l'angle d'enroulement ou remplacez une nouvelle poulie et avec un coefficient de résistance au frottement plus élevé.</li> </ul>

Surchauffe du moteur.	Couple nominal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prolonger le temps d'accélération et réduire la force motrice.</li> <li>- Réduire la fréquence du processus de régulation de la vitesse.</li> <li>- Remplacer un nouveau moteur avec un couple nominal plus élevé.</li> </ul>
Déversement de matière de la bande.	Vibration mécanique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Appliquer un profil d'accélération plus souple.</li> <li>- Augmenter le temps d'accélération et réduire le taux de rampe d'accélération.</li> </ul>

Par conséquent, il est nécessaire d'obtenir le temps d'accélération optimal pour satisfaire à la fois les attentes en matière de prévention des risques et d'économies d'énergie.

## II.7 Etude de cas

Pour montrer la méthode en trois étapes, on a étudié un cas d'un long convoyeur à bande à Carcasse textile type EP-125 horizontale paramètres de ce cas sont indiqués dans le **Tableau II.8**. En outre, en supposant qu'avant l'opération d'accélération, la vitesse de la bande est de 1,5 m/s et après l'opération d'accélération.



**Figure II.20** convoyeur à bande horizontal.

## II.7.1 Etape 1 - Initiation

Sur la base des données du **Tableau II.8**, la masse de matériau en vrac spécifié sur la bande par unité de longueur  $m_L$  est :

$$m_L = \frac{Q_m}{3,6.V} = 67,25 \text{ Kg/m} \quad (\text{II. 7})$$

et la masse moyenne des pièces tournantes supérieurs  $m_{ro}$  et inférieurs  $m_{ru}$  par unité de longueur est :

$$m_r = m_{ro} + m_{ru} = 22 \text{ kg/m} \quad (\text{II. 8})$$

En ce qui concerne le risque de surtension de la courroie, l'accélération autorisée est :

$$a_{\text{max,tension}} = \left( \frac{m_T g}{2L(m_r + 2m_G + m_L)} - Cfg \right) \frac{S_{B\text{min}} - S_{A\text{min}}}{S_{A\text{min}}} \quad (\text{II. 51})$$

Donc 
$$a_{\text{max,tension}} = 0,289 \text{ m/s}^2$$

En ce qui concerne le risque de glissement de la courroie autour de la poulie d'entraînement, l'accélération autorisée est :

$$a_{\text{max,glissement}} = \left( \frac{(e_{\mu\alpha} - 1)m_T g}{2L(m_r + 2m_G + m_L)} - Cfg \right) \quad (\text{II. 55})$$

D'après le calcul 
$$a_{\text{max,glissement}} = 0,49 \text{ m/s}^2$$

Pour le risque de surchauffe du moteur, l'accélération autorisée est :

$$a_{\text{max,surchauffe}} = \left( \frac{i_{rf} \cdot i_{sf} \cdot T_{\text{nom.moteur}} - R_d \cdot Cfg L(m_r + 2m_G + m_L)}{R_d [L(m_r + 2m_G + m_L) + m_{\text{moteur}} + m_{\text{equipement}}]} \right) \quad (\text{II. 59})$$

Le calcul nous donne 
$$a_{\text{max,surchauffe}} = 0,101 \text{ m/s}^2$$

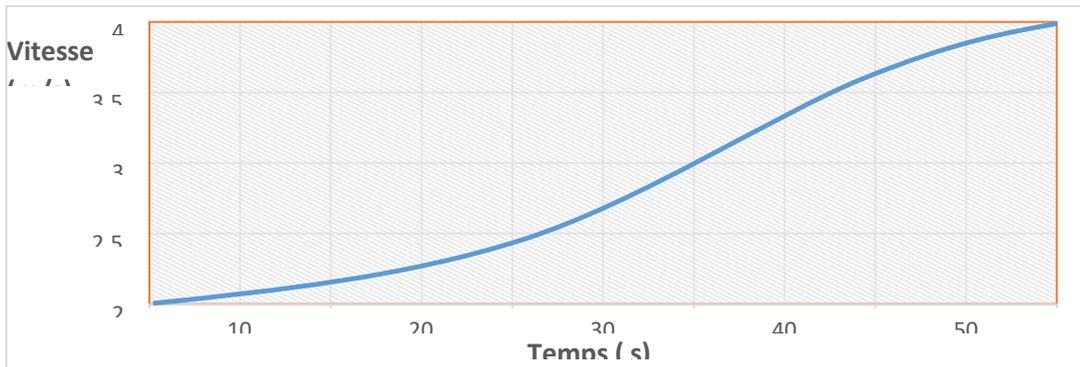
L'accélération autorisée concernant les trois risques mentionnés est :

$$a_{\text{max}} = \min(a_{\text{max.surtension}}; a_{\text{max.glissement}}; a_{\text{max.surchauffe}}) \quad (\text{II. 30})$$

$$a_{\text{max}} = \min(0,289, 0,49, 0,101) = 0,101 \text{ m/s}^2$$

Fait important, le résultat en Equation (II. 30) montre au cours du processus d'accélération de ce cas spécifié, le risque de glissement de la courroie autour de la poulie menant doit faire l'objet d'une plus grande attention. Cela arrive fréquemment. La tension d'absorption requise du point de vue dynamique est très souvent sous-estimée lorsque l'on utilise uniquement une approche statique ; Ensuite, selon l'équation. (II. 58), le temps d'accélération initial est :

$$T_{a.\text{min}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{a_{\text{max}}} = 29,54 \text{ s} \quad (\text{II. 31})$$



**Figure II.21** Courbe de vitesse idéale avec un profil d'accélération sinusoïdal.[1]

Pour compléter l'opération d'accélération de vitesse de **1,9 m/s** avec profil d'accélération sinusoïdal.

### II.7.2 Etape 2 - Calcul dynamique (Estimation de l'accélération autorisée)

Dans la deuxième étape, des simulations sont effectuées pour analyser la dynamique du convoyeur et calculer l'accélération avec le temps d'accélération initial. Les simulations sont basées sur les suppositions suivantes :

- a- La bande transporteuse est entièrement chargée pendant toute l'opération en raison du contrôle de la vitesse.
- b- La tension de la courroie après la poulie d'entraînement, la tension d'enroulement, reste constante. Pour calculer l'accélération, la force de traction de la courroie avant la poulie motrice et le couple moteur sont surveillés. Surtout, comme indiqué dans l'équation (II.30), le risque de glissement de la courroie autour de la poulie d'entraînement signifie que le rapport de tension autour de la poulie d'entraînement doit être surveillé. En ce qui concerne le glissement de la courroie, la force de traction de la courroie avant la poulie d'entraînement est limitée :

$$F_{1Amax} = F_{2A} \quad (II.37)$$

Donc la valeur la force de traction de la bande avant la poulie motrice  $F_{1Amax}$  est :

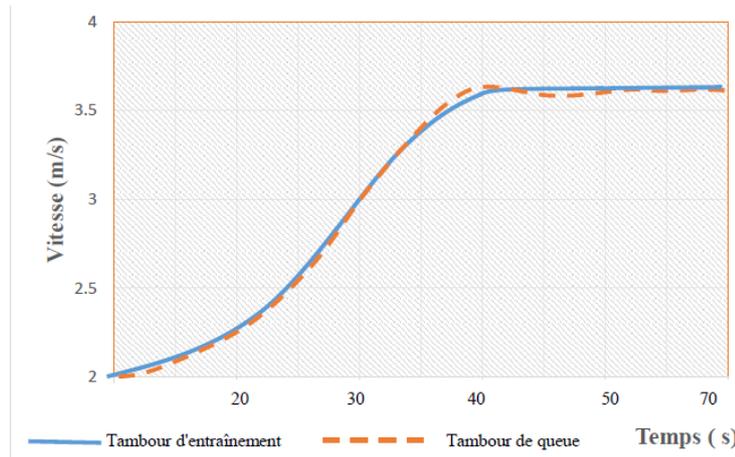
$$F_{1Amax} = F_{2A} \cdot C_w = \frac{1}{2} m_T \cdot g \cdot C_w = 71,69kN \quad (II.54)$$

Et en ce qui concerne la surchauffe du moteur, le couple d'entraînement du moteur est limité :

$$i_{sf} = \frac{T_{max,moteur}}{T_{nom,moteur}} \quad (II.56)$$

$$T_{max,moteur} = T_{nom,moteur} \times i_{sf} = 82,317N/m$$

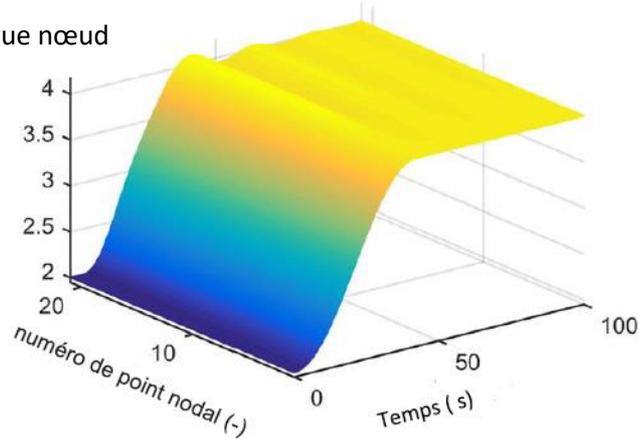
- Résultats de la simulation



**Figure II.22** Courbes de vitesse pour tambour d'entraînement et pour tambour de queue dans le processus de régulation de la vitesse. [1]

La **Figure II.22** : illustre les courbes de vitesse de la bande sur la poulie d'entraînement et la poulie de queue. Comme le montre la figure, la poulie d'entraînement commence à accélérer au point de temps **0 s**. Même avec le profil d'accélération souhaité, la vitesse de la poulie d'entraînement augmente progressivement et les courbes de vitesse ressemblent à une courbe en "S". Au point **41 s**, la vitesse de la poulie d'entraînement atteint la vitesse désirée et après cela, la poulie d'entraînement tourne à vitesse constante. Contrairement à la courbe de vitesse à la poulie de tête, la vitesse à la poulie de queue n'a presque pas de changements au début de l'opération d'accélération. Cependant, quelques secondes plus tard, la poulie de queue commence à accélérer. Après l'accélération, la vitesse de la courroie au niveau de la poulie de queue commence à fluctuer cycliquement autour de la vitesse désirée. Cette fluctuation s'évapore après le passage de quelques ondes de tension.

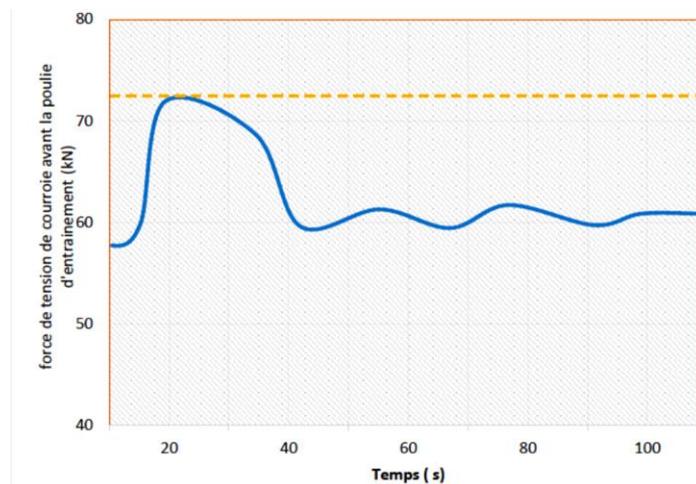
Vitesse de la bande a chaque nœud



**Figure II.23** Vitesse de la bande à chaque nœud dans le processus de régulation de la vitesse. [1]

La **Figure II.23** illustre la vitesse de la bande à chaque nœud. Dans le processus de régulation de vitesse, la vitesse de la courroie à chaque nœud augmente successivement. En ce qui concerne l'élasticité de la courroie, la vitesse de la courroie à chaque nœud fluctue pendant une certaine période après l'opération d'accélération.

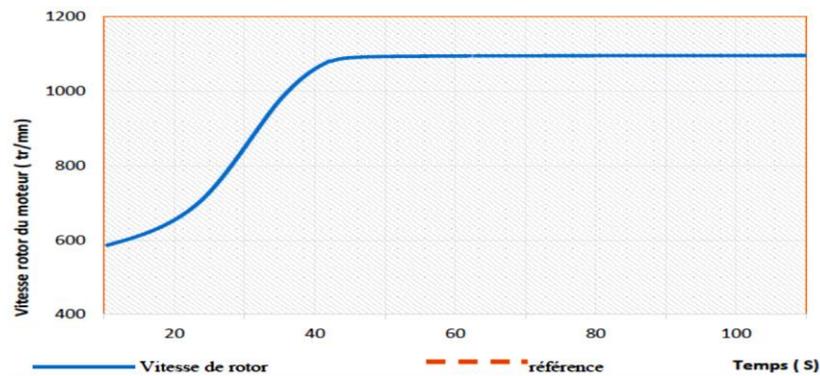
La figure montre que la fluctuation de l'amplitude de la vitesse de la bande du côté du transport est inférieure à celle du côté du retour. Pendant ce temps, en ce qui concerne la propriété de viscosité de la courroie, l'amplitude s'amortit dans le temps.



**Figure II.24** Tension de la courroie avant la poulie motrice dans le processus de régulation de la vitesse. [1]

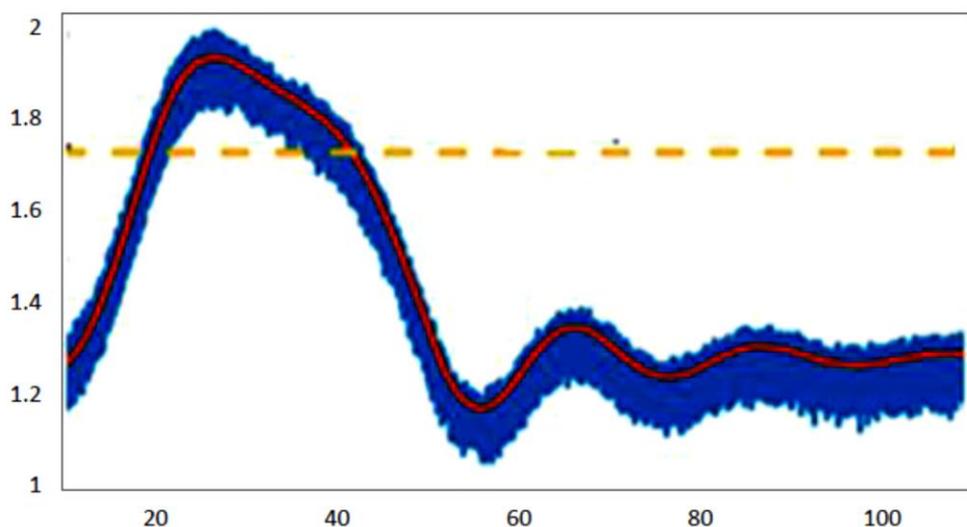
La **Figure II.25** illustre la force de traction de la courroie avant la poulie d'entraînement. Les résultats de la simulation montrent, au début du processus d'accélération, que la tension de la courroie augmente progressivement. Au point de temps **13 s**, la force de traction de la ceinture atteint **71,69 kN** et à **17 s**, elle atteint le pic de **76 kN**. Même avec les courbes de vitesse de la

courroie, la force de traction de la courroie fluctue autour d'un certain niveau après l'opération d'accélération.



**Figure II.25** Vitesse du rotor du moteur dans le processus de régulation de la vitesse. [1]

Les courbes de vitesse du rotor du moteur et les courbes de couple électromagnétique du moteur sont illustrées à la **Figure II.25** et à la **Figure II.26** respectivement. Le modèle de moteur provient de la boîte à outils simulink. Comme le montre la **Figure II.25**, la vitesse du rotor du moteur augmente graduellement et doucement lors de l'accélération. La courbe de vitesse du rotor est également une courbe en «S». La **Figure II.26** illustre les courbes de référence de couple et les courbes de couple électromagnétique du moteur. Pendant l'opération d'accélération, la référence de couple et le couple électromagnétique varient progressivement. Autour du point temporel **10 s**, le couple électromagnétique augmente jusqu'à la valeur nominale. **7 s** plus tard, le couple atteint le pic, jusqu'à **1,77 Km<sup>3</sup>**. Après cela, le couple diminue progressivement. De manière similaire aux courbes de vitesse de la courroie, le couple électromagnétique fluctue après l'opération d'accélération avec une amplitude décroissante.



**Figure II.26** Couple électromagnétique du moteur dans le processus de régulation de la vitesse. [1]

La **Figure II.26** illustre le couple d'entraînement du moteur. Il montre en accélération, le pic de couple est inférieur à celui autorisé, ce qui est défini par le couple moteur et le facteur de service du moteur. Cela signifie que dans cette accélération, le risque de surchauffe du moteur est également évité. En résumé, dans cette opération d'accélération avec le temps d'accélération initial, il existe un risque de glissement de la courroie autour de la poulie motrice.

### II.7.3 Etape 3 - Optimisation

Comme indiqué dans les sections précédentes, le risque de glissement de la courroie n'est pas autorisé dans un convoyeur à bande sous contrôle de vitesse, en particulier dans le contrôle de vitesse actif où la vitesse de la courroie est fréquemment ajustée. Dans cette section, d'autres simulations sont effectuées pour améliorer l'accélération et obtenir le temps d'accélération optimal. En prenant en compte le risque de glissement de la courroie autour de la poulie d'entraînement, le problème de l'optimisation Le temps d'accélération peut être considéré comme un problème de recherche de la racine de la fonction  $f(t)$  :

$$f(t) = F_{1Amax}(t) - 71,69 = 0$$

## II.8 Conclusion

On a suivi dans ce chapitre, un diagramme de la méthode de calcul du convoyeur à choisir pour transporter les produits en vrac ou à charge isolé, où nous avons calculés la résistance d'avancement principale identique à la force tangentielle, elle est engendrée par le frottement de la bande sur le tambour d'entraînement, lors de son enroulement, qui détermine automatiquement la puissance d'entraînement nécessaire pour un mouvement stable du convoyeur à bande.

La somme des masses en mouvement (masse de la bande, masse des pièces tournantes, masse de produit transportés et masse des éléments d'entraînement), permet sa prise en compte lors de l'étude et de la conception du convoyeur à bande.

Ne pas tenir compte de ces critères ou procéder à l'inverse aboutit à la construction d'un convoyeur inefficace et inadaptable, ce qui engendre des interventions de nettoyage et d'entretien, avec un rendement faible.

La méthode en trois étapes permet d'obtenir un fonctionnement d'accélération approprié avec un temps d'accélération optimal dans le contrôle de vitesse actif.

Un cas de système de convoyeur horizontal a été étudié avec la mise en œuvre de la méthode en trois étapes. En ce qui concerne les risques potentiels, le temps d'accélération initial a été estimé.

Dans le calcul, les comportements dynamiques du convoyeur ont été analysés.

En ce qui concerne le risque de glissement de la courroie, d'autres études sont effectuées pour améliorer l'accélération et obtenir le temps d'accélération optimal.

Les résultats de l'étude de cas montrent que la méthode en trois étapes est capable d'atteindre l'accélération appropriée avec un temps d'accélération optimal.

Les résultats de la simulation sont applicables à la conception d'un contrôleur de vitesse pour ce convoyeur à bande spécifique.

Des recherches futures se pencheront sur le développement de contrôleurs de vitesse actifs pour permettre les économies d'énergie des convoyeurs à bande.

**Chapitre III**

**La surveillance et le diagnostic des**

**Convoyeurs à bande**

### **III.1 Introduction**

La surveillance et le diagnostic des convoyeurs à bande représentent un enjeu scientifique et économique important et est motivé par les objectifs de sûreté de fonctionnement et de continuité de service.

Les convoyeurs à bande occupent une place de plus en plus importante dans les équipements industriels, surtout avec les nouvelles exigences en matière de traction électrique ou de production décentralisée d'énergie avec des nouvelles structures des convoyeurs à bande.

Les convoyeurs à bande sont très présents dans de nombreux processus industriels et miniers et leur surveillance est devenue un souci permanent grâce à leurs atouts, en termes de coût et de performance.

Le diagnostic des défaillances d'un convoyeur à bande a bénéficié d'un intérêt intense de recherche, lorsqu'il est réalisé avec efficacité, il représente un des moyens pour contribuer à obtenir un meilleur gain de productivité et ouvre la voie à une commande tolérante aux défauts, et doit par conséquent augmenter la robustesse du convoyeur à bande [19], [20].

Dans ce chapitre, nous présentons les concepts de la surveillance et les différentes techniques du diagnostic des convoyeurs à bande.

L'objectif est de mettre en contexte l'utilisation des méthodes de diagnostic interne pour le diagnostic de ces installations.

### **III.2 Fiabilité des convoyeurs à bande**

Le convoyeur à bande est un ensemble des composants interdépendants, conçus pour transporter les matériaux dans des conditions données et dans un intervalle de temps donné. Dans cet effet, il est importé de définir clairement les éléments qui le caractérisent, à savoir :

La fonction, la structure, les conditions de fonctionnement, les conditions d'exploitation et l'environnement dans lequel il est appelé à opérer [21].

La fiabilité du convoyeur à bande est représentée par son aptitude à être disponible dans son ensemble pour le transport des matériaux en vrac dans des conditions d'utilisation et dans un délai déterminé.

A un instant  $t$ , la fiabilité se mesure par la probabilité que l'entité **E** accomplisse une fonction requise dans les conditions données pendant l'intervalle de temps  $[0 ; t]$ , ainsi

$$R(t) = P [E \text{ soit non défaillant sur } [0, t]] \quad (\text{III.1})$$

L'aptitude contraire est la probabilité de défaillance de l'entité, quelque fois appelée défiabilité.

On écrit :

$$\hat{R}=1-R(t) \quad (\text{III.2})$$

### III.3 Surveillance des convoyeurs à bande

Les systèmes des convoyeurs à bande sont des dynamiques hautement non linéaires et changeantes au cours du temps. Ils se caractérisent par le fait de posséder un grand nombre de variables, qui doivent être prises en considération au moment d'effectuer la surveillance, pour ces systèmes l'incertitude et l'imprédictibilité rendent les décisions difficiles. L'automatisation apparaît comme le plus important facteur de développement de ces processus. D'un autre côté, dans un système du convoyeur à bande, il est cependant impossible de tout anticiper et planifier, c'est pourquoi des opérateurs humains sont encore souvent en charge des grandes installations industrielles. Les humains ont en effet pour principale qualité de savoir gérer l'imprévu et l'incertain, et donc de pouvoir créer des stratégies adaptées quand surviennent des situations de dysfonctionnement.

Il est donc clair que pour les convoyeurs à bande, il est essentiel de disposer des systèmes de surveillance et de diagnostic qui permettent de travailler avec un niveau d'incertitude élevé et d'inclure la connaissance humaine.

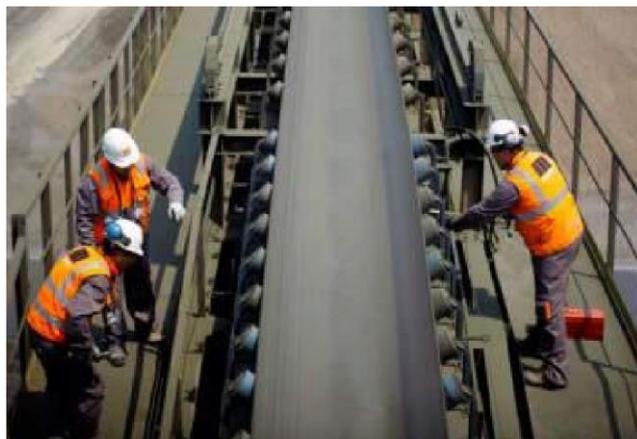
### III.4 Techniques de surveillance des convoyeurs à bande

L'objectif de la surveillance est de vérifier l'état courant du procédé en incluant la détection de l'apparition d'un défaut.

Elle est difficile de surveiller un grand nombre des variables en même temps par un opérateur humain car elle est nécessitée beaucoup de main-d'œuvre surtout lorsqu'il s'agit de convoyeur à bande de grande distance.

Un inspecteur doit marcher sur toute la longueur du convoyeur pour inspecter ses composants, la **figure (III.1)** montre une inspection humaine.

En plus, les résultats de l'inspection humaine peuvent être contradictoires en raison du fait que toutes les inspections ne sont pas effectuées par le même inspecteur.



**Figure III.1** Inspection humaine du convoyeur à bande.

Une technique de surveillance automatisée est alors nécessaire pour faire l'analyse des variables pertinentes et donner une information plus claire et utile pour que l'opérateur puisse prendre des décisions, les principales techniques dans la surveillance du convoyeur à bande sont présentées dans le **tableau III.1**.

*Tableau III.1* Paramètres et techniques de surveillance du convoyeur à bande.

<b>Paramètres</b>	<b>Composants</b>	<b>Technologies</b>
<b>La bande</b>	La surface extérieure	Détection visuelle (caméra)
	La surface intérieure	Détection conductrice
	Les jonctions	Rayon X
<b>La vitesse</b>	La bande	Tachymètre
	Le réducteur	Codeur optique / magnétique
	Le moteur	Capteur de détection magnétique
<b>Le couple</b>	L'arbre du moteur	Capteur du couple
	L'arbre de réducteur	
	L'arbre de tambour	
<b>La tension</b>	Le tendeur	dynamomètre
	La bande	
<b>Les vibrations</b>	Le tambour	Capteur de vibration (vibro_test) Accéléromètre
	Les rouleaux du support	
	Le réducteur	
	Le moteur	
	Le tendeur	
<b>La puissance</b>	Le moteur	Wattmètre
<b>La position</b>	Désalignement de la bande	Capteur d'alignement Codeuroptique
	Déplacement de tendeur	
<b>La température</b>	Le moteur	Thermocouple Caméra infrarouge
	Le réducteur	

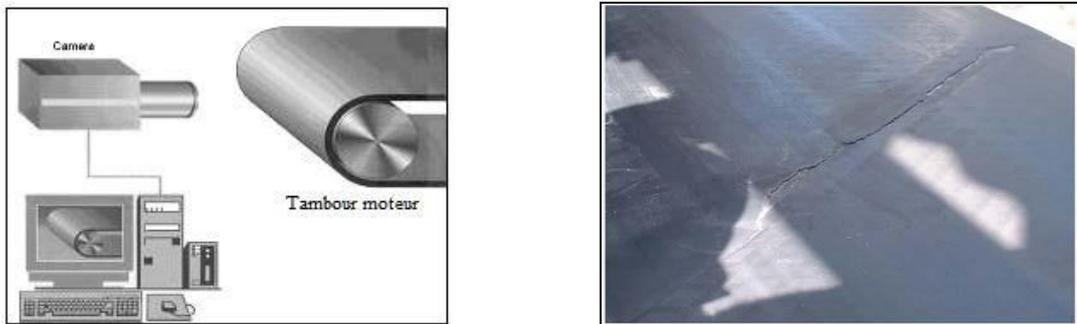
Le tambour moteur
Les rouleaux du support

### III.4.1 Surveillance de l'état de la bande :

La bande transporteuse est une combinaison de trois éléments principales telles que :

1. La surface extérieure de la bande (les couches supérieures et inférieures)
2. La surface intérieure de la bande (les câbles en acier ou en tissu)
3. Les jonctions de la bande

#### III.4.1.1 Surveillance de la surface extérieure de la bande



**Figure III.2** Surveillance de la surface extérieure de la bande.

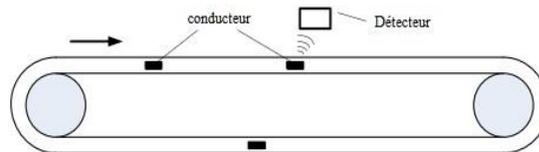
Pour une surveillance automatisée de la surface de la bande on utilise des caméras à vitesse plus élevée , pour la télésurveillance et la reconnaissance des formes avec des systèmes informatiques comme l'illustre dans la figure (III.2), les caractéristiques de base du processeur d'image comprennent des algorithmes de reconnaissance et la possibilité de prendre des images partielles pour enregistrer la mémoire du processeur et le traitement de l'arithmétique qui facilite le taux de calcul élevés. [22]

#### III.4.1.2 Surveillance de la surface intérieure de la bande

La surveillance conductrice est la technologie la plus utilisé pour surveiller la surface intérieur de bande dans le cas des bandes en acier. En principe, un système de surveillance conducteur contient un ou plusieurs conducteurs qui génèrent ou réfléchissent des signaux vers un ou plusieurs détecteurs.

Des conducteurs peuvent être intégrés dans la carcasse intérieure de la bande pour former un système de surveillance conducteur intégré. Dans ce type d'applications, les conducteurs peuvent être des bobines de circuit, des boucles conductrices, des puces de transpondeur ou des aimants.

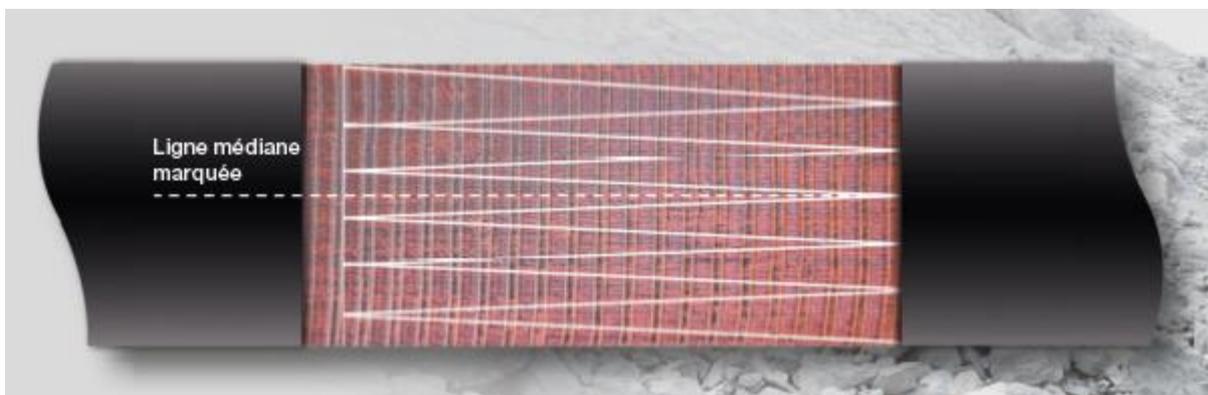
Cette technique est réalisée par la mesure continue de la distance entre les deux conducteurs où une augmentation de la distance indique potentiellement une tension accrue de la bande ou des dommages aux niveaux des jonctions.



**Figure III.3** Surveillance de la surface intérieure de la bande.

#### III.4.1.3 Surveillance des jonctions

L'application de la technique des rayons X est réalisée par l'utilisation d'une caméra numérique à rayons X à faible consommation d'énergie pour numériser l'état de la bande. Les images produites par une telle caméra à rayons X peuvent révéler des dommages potentiels d'une bande, par exemple un endommagement des jonctions comme le montre **la figure (III.4)**.



**Figure III.4** Surveillance des jonctions de la bande par les rayons X

#### III.4.2 Surveillance de la vitesse de la bande

Cette technique de surveillance est non seulement nécessaire pour confirmer que le convoyeur fonctionne effectivement à sa vitesse nominale, mais surtout pour vérifier la dynamique de démarrage et d'arrêt du système de convoyage, pour capter le signal de la vitesse de la bande dans les différents régimes de fonctionnement on utilise un tachymètre capteur de la vitesse.

il s'installe près de la tête motrice entre le brin supérieur et inférieur, la tension du ressort nous donne une adhérence parfaite entre la roue à gomme et la bande inférieure qui à son tour assure la rotation de la roue du capteur et indique toute différence entre la vitesse de la bande mesurée et la vitesse linéaire de la rotation de tambour pendant le fonctionnement du convoyeur comme le montre **la figure (III.5)**.



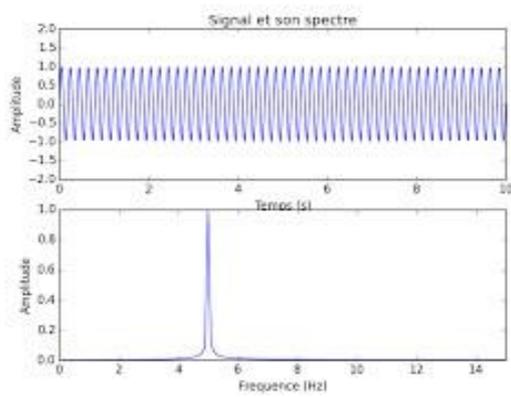
**Figure III.5** Surveillance de la vitesse de la bande par tachymètre.

#### **III.4.3 Surveillance de la force, la tension et le couple**

Pour valoriser la variation de la tension sur la bande pendant les régimes de fonctionnement du convoyeur, on dispose d'un dynamomètre mécanique. Le principe de fonctionnement de ce dynamomètre consiste en l'exercice d'une pression entre le tambour de renvoi et le dynamomètre pour voir l'aiguille du comparateur indiquer la valeur de la force, la tension et le couple.

#### **III.4.4 Surveillance des vibrations**

La surveillance par l'analyse vibratoire des systèmes du convoyeur à bande est l'outil préventif de la maintenance. Cette technique est largement utilisée dans la majorité des installations. Elle détecte pratiquement toutes les anomalies susceptibles d'apparaître dans les machines tournantes. Un défaut d'alignement, un roulement usé, ou un jeu, s'explique par un changement des efforts internes que subit la machine, cela conduit à une modification de son comportement vibratoire. On peut suivre et surveiller l'état d'un équipement, si on place des capteurs de vibration aux endroits où se transmettent ces efforts (sur les paliers des machines). L'avantage principal de l'analyse vibratoire est la facilité de prendre des mesures, la détection des défauts à un stade précoce et la possibilité de réaliser un diagnostic approfondi pour déterminer l'origine



**Figure III.6** Détection des défauts par l'analyse vibratoire.

Cependant, la méthode de l'analyse vibratoire n'est pas très pratique pour surveiller les vibrations des rouleaux du support en raison du grand nombre et de la distribution des rouleaux. Pour cet effet on utilise le rouleau intelligent équipé par un accéléromètre pour mesurer les vibrations des rouleaux de support et le transfert des données en temps réel, voir **la figure (III.7)**



**Figure III.7** Le rouleau du support intelligent.

#### **III.4.5 Surveillance du désalignement de la bande**

Les capteurs d'alignement de la bande sont utilisés pour surveiller la position transversale de la bande comme le montre **la figure (III.8)**.

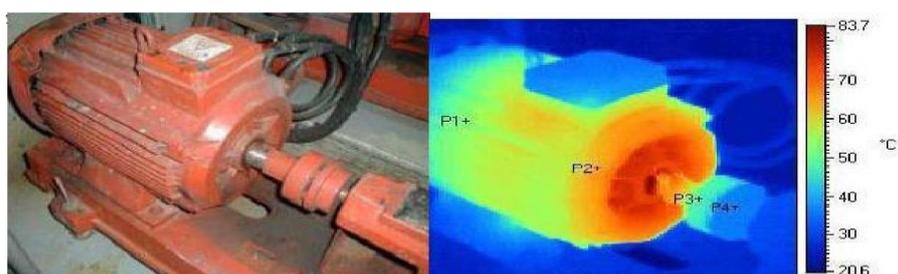


**Figure III.8** Surveillance du désalignement de la bande.

### III.4.6 Surveillance de la température

Plusieurs défauts sont produits sur un convoyeur à bande tel que (défaut d'arbre du tambour, défaut d'engrenage d'un réducteur, défauts de roulement du moteur...etc.) ces défauts sont traduits toujours par une élévation de température, cette élévation, apparaît instantanément par l'utilisation de camera à infrarouge, ainsi, la thermographie infrarouge est une technologie efficace pour la surveillance et la localisation les problèmes rapidement et en toute sécurité **figure (III.9)**.

Avec la thermographie infrarouge on peut visualiser les défauts avant qu'une panne sur les installations ne se produise et qu'elle ait des conséquences fâcheuses (perturbation ou arrêt de la production, début d'un incendie dans le pire de cas).



**Figure III.9** Détection des défauts par la caméra infrarouge.

Cependant, la méthode de la caméra infrarouge n'est pas très pratique pour surveiller la température des rouleaux du support en raison du grand nombre et de la distribution des rouleaux. Pour cet effet on utilise un système de détection de température répartie à base des fibres optiques, le câble à fibres optiques est fixé aux rouleaux du supports pour surveiller la température, le système est capable de détecter un roulement défectueux en justifiant l'hypothèse que la température des supports peut représenter l'état des rouleaux installés, comme le montre dans la **figure (III.10)** [23].



**Figure III.10** Surveillance de température à base des fibres optiques.

### III.5 Diagnostic des défauts des convoyeurs à bande

De nos jours, les convoyeurs à bande modernes deviennent de plus en plus complexes et leurs commandes de plus en plus sophistiquées. En même temps, la fiabilité, disponibilité et la

sûreté de fonctionnement sont primordiales ; elles constituent de véritables enjeux pour les entreprises actuelles. Le diagnostic des convoyeurs à bande s'impose pour l'amélioration de la surveillance des composantes citées plus haut.

Le diagnostic d'un convoyeur à bande est l'identification du mode de fonctionnement, à chaque instant, par ses manifestations extérieures. Son principe général consiste à confronter les données relevées au cours du fonctionnement réel du convoyeur avec la connaissance que l'on a de son fonctionnement normal ou défaillant [24].

Le diagnostic est défini essentiellement par deux tâches :

- L'observation des symptômes de la défaillance,
- L'identification de leurs causes à l'aide d'un raisonnement logique.

### **III.5.1 Diagnostic par les méthodes internes**

Le diagnostic des défaillances par des méthodes internes nécessite un modèle du système à surveiller, à défaut on élabore un qui convient (fiable et suffisamment précis).

Ce modèle peut varier selon les objectifs, il peut être plus ou moins représentatif d'un modèle de bon fonctionnement ou de fonctionnement caractéristique d'une ou plusieurs défaillances.

Habituellement un modèle est une description formelle (Mathématique) du système à surveiller. On peut avoir plusieurs modèles mathématiques du même système comme en automatique par exemple, peuvent être à temps continu ou discret, descriptibles au moyen d'équations différentielles ou d'équations aux différences. Ces méthodes de diagnostic internes reposent sur la comparaison de mesures réelles sur le système à surveiller et des informations que fournit le modèle.

### **III.5.2 Diagnostic par les méthodes externes**

Les méthodes externes de diagnostic supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine par apprentissage. Le module de reconnaissance utilise les observateurs issus du système, des entrées et des sorties, afin de trouver les relations de cause à effet. Dans ces méthodes de diagnostic le facteur déterminant est l'algorithme de classification.

### **III.5.3 Diagnostic par les méthodes inductives**

Ces méthodes de diagnostic correspondent à une approche montante ou recherche en avant. Il s'agit de trouver le défaut à partir de ses effets sur le système. Ces méthodes utilisent un mécanisme de raisonnement en avant qui a pour objectif d'interpréter les symptômes ainsi que leurs combinaisons afin de trouver le défaut.

### **III.5.4 Diagnostic par les méthodes déductives**

Le raisonnement en arrière est la principale caractéristique de ces méthodes. Les méthodes déductives doivent trouver quels sont les effets dans les systèmes. Une vérification des « effets trouvés par rapport aux effets possibles » permet de confirmer Ou d'infirmier l'existence du défaut. Ce qui justifie notre raisonnement.

### **III.6 Stratégies de la maintenance des convoyeurs à bande**

Il existe deux types des de la maintenance pour les systèmes des convoyeurs à bande :

- La maintenance préventive
- La maintenance corrective

#### **III.6.1 Opération de la maintenance préventive**

La remise en service du système obéit à certaines conditions [26] :

- Vérification de l'état de la bande transporteuse,
- Graissage les paliers,
- Vérification de l'état et du niveau de l'huile des réducteurs,
- Elimination de tout danger pouvant provenir de l'unité d'entraînement,
- Lubrification des réducteurs,
- Conformité de la tension et fréquence du réseau avec les valeurs indiquées sur la plaque signalétique.

#### ***Contrôle pendant la mise en service***

Pendant la mise en service on doit contrôler les points suivants :

- Bonne marche du moteur, pas de fluctuations de vitesse de rotation, pas de niveau de bruit élevé,
- Pas de perte d'huile,
- Pas de fortes vibrations,
- surveiller la bande s'il n'a pas de débordement.

#### ***Entretien***

Le convoyeur ne doit pas être mis en service ou doit être mis hors service si des détériorations ou défauts de fonctionnement sont constatés. Il peut seulement être remis en service après suppression des défauts.

Le plan d'entretien périodique du convoyeur à bande est représenté par :

***Après chaque déchargement navire***

- Nettoyer toute l'instrumentation (déport de bande, bourrage, contrôleur de rotation, arrêt d'urgence),
- Nettoyer l'ensemble bande, tambours, rouleaux supérieur et inférieur et charpente,
- Nettoyer la jetés du transporteur,
- Contrôler le niveau de huile des réducteurs,
- Vérifier l'étanchéité des coffrets électriques et des boites de dérivation,
- Examiner le moteur et nettoyer les voies de passage de l'air de refroidissement.

***Après trois mois de fonctionnement***

- Vérifier l'alignement du groupe de commande,
- Contrôler que les branchements électriques et les vis sont bien serrées,
- Vérifier qu'il n'y a pas de trace d'oxydation sur les cosses de connexion électrique,
- Relever les valeurs d'intensité de moteur à vide et en charge,
- Lubrifier les réducteurs,
- Vérifier l'état de la bande,
- Démontez, nettoyez, remontez et graissez tous les paliers (pied, tête, contrainte).

### **III.6.2 Opérations de la maintenance corrective**

Ces opérations peuvent être classées en deux groupes d'actions :

**La localisation de défaillance :**

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément les éléments par les quels la défaillance se manifeste, on distingue [26].

- ***Le test***

c'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte

- ***La détection***

c'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant

- ***Le dépistage***

c'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement

- ***Le diagnostic***

c'est l'identification de la cause probable de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires

**La remise en état :**

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes

- ***a. Le dépannage***

C'est une action sur un bien en panne, en vue de la remettre en état de fonctionnement compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

- ***b. La modification***

C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emplois [26].

### **III.7 Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons défini la fiabilité d'un système de convoyeur à bande non seulement pour introduire certaines définitions mais également pour mettre en évidence l'ampleur de l'effort nécessaire à mettre en place un système de maintenance adéquat des bandes transporteuses.

On présente les différents concepts généraux sur lesquels se base le diagnostic des convoyeurs à bande.

Parmi les méthodes proposées dans la littérature, nous nous sommes particulièrement intéressés à celles basées sur la méthode interne. Nous avons montré qu'à partir des équations mathématiques il est possible d'établir un modèle comportemental du procédé qui soit utile pour identifier les états fonctionnels incluant les états de défaillance.

L'utilisation de méthodes de diagnostic interne pour le diagnostic des convoyeurs à bande est une alternative intéressante à l'utilisation d'un modèle mathématique et ces méthodes fournissent généralement de bons résultats permettant d'identifier facilement la cause de la

défaillance du système parce que la définition des états est directement en relation avec les variables de ce dernier.

Il est important de connaître les grandeurs et les mécanismes qui en résultent pour pouvoir implanter un système de maintenance efficace et rentable. On définit les techniques de surveillance des convoyeurs à bande.

En résumé, la surveillance de l'état actuel des convoyeurs à bande repose principalement sur les inspecteurs humains ce qui est coûteux et incohérent. L'utilisation de capteurs pour faciliter l'inspection et d'autres solutions de surveillance automatisées sont en cours de développement. Cependant, le choix et l'emplacement des capteurs dans ces solutions est primordial ; la réussite d'une surveillance efficace passe par l'emplacement optimal (dans les points névralgiques) des différents capteurs

## **Conclusion générale**

Avant de faire le choix ou la conception d'un convoyeur à bande, il faut d'abord faire une recherche bibliographique pour avoir une connaissance suffisante sur les caractéristiques techniques des convoyeurs à bande, ses principaux organes de construction, et leurs domaines d'utilisations. Cette connaissance, nous permet de déterminer le type du convoyeur à bande avec un bon dimensionnement de calcul ; dans le but de nous assurer la longue durée de vie de ses composants et d'éviter les risques et les incidences sur la sécurité de ces derniers. Elle nous permet aussi d'avoir un bon rendement dans des conditions stables et efficaces et d'assurer un bon environnement de travail. Chaque convoyeur doit être conçu pour transporter les matériaux visés en tenant compte de certains critères. Ce sont les propriétés des matériaux, tel que granulométrie, densité, abrasive corrosivité, humidité et d'autres propriétés chimiques, le débit souhaité ainsi que les contraintes qu'impose l'emplacement du convoyeur qui déterminent les critères de conception. On a suivi dans ce chapitre, un diagramme de la méthode de calcul du convoyeur à choisir pour transporter les produits en vrac, où nous avons calculés la résistance d'avancement principale identique à la force tangentielle, elle est engendrée par le frottement de la bande sur le tambour d'entraînement, lors de son enroulement, qui détermine automatiquement la puissance d'entraînement nécessaire pour un mouvement stable du convoyeur à bande. La somme des masses en mouvement (masse de la bande, masse des pièces tournantes, masse de produit transportés et masse des éléments d'entraînement), permet sa prise en compte lors de l'étude et de la conception du convoyeur à bande. Ne pas tenir compte de ces critères ou procéder à l'inverse aboutit à la construction d'un convoyeur inefficace et inadaptable, ce qui engendre des interventions de nettoyage et d'entretien, avec un rendement faible. La méthode en trois étapes permet d'obtenir un fonctionnement d'accélération approprié avec un temps d'accélération optimal dans le contrôle de vitesse actif. Un cas de système de convoyeur horizontal a été étudié avec la mise en œuvre de la méthode en trois étapes. En ce qui concerne les risques potentiels, le temps d'accélération initial a été estimé. Des simulations ont été effectuées pour calculer l'accélération avec le temps d'accélération initial. Dans le calcul, les comportements dynamiques du convoyeur ont été analysés. En ce qui concerne le risque de glissement de la courroie, d'autres études sont effectuées pour améliorer l'accélération et obtenir le temps d'accélération optimal. Les résultats de l'étude de cas montrent que la méthode en trois étapes est capable d'atteindre l'accélération appropriée avec un temps d'accélération optimal. Les résultats de la simulation sont applicables à la conception d'un contrôleur de vitesse pour ce convoyeur à bande spécifique. Des recherches futures se pencheront sur le développement de contrôleurs de vitesse actifs pour permettre les économies d'énergie des convoyeurs à bande.

## Bibliographie

- [1] Hamaizi N. « *Contrôle et réglage de la vitesse du convoyeur à bande pendant le régime transitoire* » mémoire de master , Université badji mokhtar, Annaba 2017-2018
- [2] “ Reducing the Electrical Power Consumption of Troughed Belt Conveyors by Speed Control” <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A8f0c0953-f7e6-45c6-b9be-7cdec36979ec>
- [3] Latreche K. Boumagouda L. « conception d’un convoyeur a bande » mémoire de master , Université Larbi Tébéssi de Tébessa 2015/2016.
- [4] Djouema N. « *surveillance et diagnostic des convoyeurs a bande*» Thèse de Doctorat, Université badji mokhtar, Annaba 2018/2019.
- [5] Cheurfa A. Rezame M. « Étude et dimensionnement d’un convoyeur à bande des bouteilles d’huilé de 5 litres » mémoire de master, Université Abderrahmane mira ,Bejaia, 2017 / 2018.
- [6] Léon Dubois, Lafarge Coppée. 150 ans d’industrie, Paris, Belfond, 1988, 324 pp.
- [7] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Convoyeur>
- [8] <http://www.thecementgrindingoffice.com/fr/presentations/belt1/belt1.htm>
- [9] DIN22101, Continuous conveyors-Belt conveyors for loos bulk materials-Basics for calculation and dimensioning, 1982
- [10] “Sécurité des convoyeur a courroie “ , <http://www.csst.qc.ca/> a 18/05/2021
- [11] <https://www.slideshare.net/HasniZied/dimensionnement-et-conception-dunconvoyeur-bande>
- [12] <http://www.thecementgrindingoffice.com/fr/presentations/belt4/belt4.htm>
- [13] DIN22101, Continuous conveyors-Belt conveyors for loos bulk materials-Basics for calculation and dimensioning, 1982
- [14] “formations techniques paramètres à prendre en compte pour l'étude et la conception des convoyeurs à bande “ <https://www.rulmeca.com/en/>
- [15] “Dimension de matière du convoyeur “ [https://www.academia.edu/9226095/DIN\\_22101](https://www.academia.edu/9226095/DIN_22101)
- [16] “ Belt Conveyor Dynamics in Transient Operation for Speed Control” <https://publications.waset.org/10004937/belt-conveyor-dynamics-in-transient-operation-for-speed-control>
- [17] “ Chapitre 4 : Etude et conception du convoyeur à bande...” <https://www.slideshare.net/HasniZied/dimensionnement-et-conception-dunconvoyeur-Bande>
- [18] “B. Kolonja, B. Jeftenić, D. Ignjatović, The application of frequency converters for the regulation of belt” <http://ulpad.fberg.tuke.sk/transportlogistics/wp-content/uploads/133.pdf>
- [19] Seghiour A . «Diagnostic des machines électrique par l’analyse du champ magnétique-application à l’identification des défauts», thèse doctorat université Laghouat, Algérie 2017
- [20] Abdallah Kabouche, «Technique de maintenance prédictive pour l’amélioration de la disponibilité des installations», thèse doctorat, université Annaba, Algérie

- [21] “ Intelligent Belt Conveyor Monitoring and Control”  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.464.4196&rep=rep1&type=pdf>
- [22] “Prediction of Belt Conveyor Idler Performance”  
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:e813298e-93d8-4a76-a7ab-72b327bcde4b/datastream/OBJ/download>
- [23] Y.Pang G.Lodewijks “ A Novel embedded conductive detection system for intelligent conveyor belt monitoring”  
[https://www.researchgate.net/publication/224063160\\_A\\_Novel\\_Embedded\\_Conductive\\_Detection\\_System\\_for\\_Intelligent\\_Conveyor\\_Belt\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/224063160_A_Novel_Embedded_Conductive_Detection_System_for_Intelligent_Conveyor_Belt_Monitoring)
- [24] *Bouchareb Ilhem* .«*Modélisations et outils d'aide au diagnostic de défauts de machines synchrones et a reluctance variable*», thèse doctorat, université Constantine, Algérie 2013
- [25] *Medoued Ammar*, «*surveillance et diagnostic des defaults des machines électriques : applications aux moteurs asynchrones*» thèse doctorat université Skikda, Algérie 2012
- [26] *Meziane Ridha, Mouhli Toufik* « *Etude Mécanique et électrique d'un convoyeur à bande afin d'augmenter sa charge* », université Béjaïa, 2013